VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ



RENÉ-JUST HAÜY

LA STRUCTURE DES CRISTAUX

OEUVRES CHOISIES



РЕНЭ ЖЮСТ ГАЮИ

СТРУКТУРА КРИСТАЛЛОВ

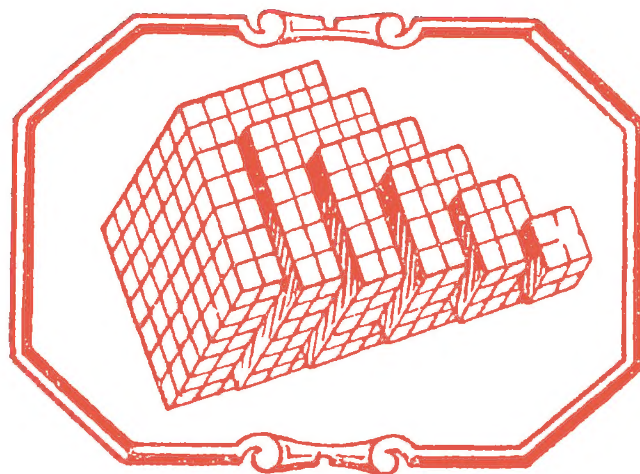
ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ



ПЕРЕВОД
О. С. ЗАБОТКИНОЙ и Г. А. СТРАТАНОВСКОГО

СОСТАВЛЕНИЕ, СТАТЬЯ И ПРИМЕЧАНИЯ
ПРОФ. И. И. ШАФРАНОВСКОГО

РЕДАКЦИЯ
АКАДЕМИКА А. В. ШУБНИКОВА
И ЧЛ.-КОРР. АН СССР Г. Б. БОКИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
1962

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Основана академиком *С. И. Вавиловым*

Редакционная коллегия: академик *И. Г. Петровский* (председатель), академик *Н. Н. Андреев*, академик *Б. А. Казанский*, академик *П. Ф. Юдин*, член-корреспондент АН СССР *Б. Н. Делоне*, член-корреспондент АН СССР *А. М. Самарин*, профессор *В. П. Зубов*, профессор *Д. М. Лебедев*, профессор *Н. А. Фигуровский*, кандидат философских наук *И. В. Кузнецов*, кандидат исторических наук *Д. В. Ознобишин* (ученый секретарь)


СТРУКТУРА КРИСТАЛЛОВ
* РЕНЭ ЖЮСТ ГАЮИ *

ОПЫТ ТЕОРИИ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ К РАЗНОРОДНЫМ КРИСТАЛЛИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВАМ[1]



ПРЕДИСЛОВИЕ

Теория, предлагаемая мной в данном труде, основана на согласованности наблюдений с вычислениями. Без этого невозможно было дать более или менее успешную трактовку предмета, где все является пропорцией и закономерностью.

Хотя для понимания использованных мной примеров требуется обычно лишь знание алгебры и геометрии, необходим испытанный глаз для усвоения чертежей, большая часть которых изображает с помощью пересекающихся по всевозможным направлениям линий рельефные предметы на плоскости.

Желательно, чтобы читатели, которые захотят проследить детали описанных примеров, изготовили бы из картона или других материалов фигуры, изображающие главные разновидности кристаллов.

На гранях таких фигур они смогли бы чертить линии, указанные на чертежах. При этом можно прибегнуть к помощи «разверток», помещенных в начале каждой главы. Это позволит придать искусственным кристаллам формы, в точности подобные моделям, созданным Природой.

ВВЕДЕНИЕ

С какой бы точки зрения не рассматривать Природу, всегда поражает обилие и разнообразие ее творений. Украшая и оживляя поверхность земного шара постоянным чередованием живых существ, она в то же время в своих подземных расселинах тайно подвергает обработке неорганические вещества и, как бы играя, порождает бесконечное разнообразие геометрических форм.

Известно, что когда молекулы минеральных веществ находятся во взвешенном состоянии в жидкости, обладающей определенной чистотой и плотностью, когда им предоставлено, согласно столь точному и ясному определению Добантона[1] «время, пространство и покой», они обнаруживают тенденцию к взаимному сближению. Сближаясь и соединяясь друг с другом, они образуют в совокупности многогранники, ограниченные обычно плоскими гранями. Этим телам и дали название кристаллов. За последние несколько лет изучение таких тел значительно продвинулось вперед и открыло перед естествоиспытателями целый ряд новых интересных явлений, позволило им увидеть, что даже мельчайшие молекулы материи подвержены, в силу высшей мудрости, постоянно действующим законам, порождающим определенную гармонию и порядок.

Исследование, о котором идет речь, как и вообще всякое исследование минералов, ограничено определенным числом видов, значительно меньшим, чем в животном или в растительном мире. В этом отношении оно требует меньшего напряжения ума, который не рассеивается между многими объектами и ввиду этого может легче уловить всю совокупность явлений и их взаимную связь.

Однако разнообразие форм, которые может принимать одно и то же вещество, создает здесь другие трудности. В животном и растительном мире различные индивиды одного и того же рода несут на себе явственный отпечаток своего общего прототипа. Величина объекта, соотношения его частей, их окраска могут быть различными; но, наряду с этими случайными изменениями, продолжает существовать первичная форма, которая обнаруживается в каких-то явных и неизгладимых признаках. Что же

[1] Leçons de Minéralogie.

касается минералов и в особенности кристаллов, то здесь, наоборот, разновидности одного рода часто кажутся с первого взгляда не имеющими между собой ничего общего. Даже те признаки сходства, которые можно в них обнаружить, создают только новые трудности. Так, например, известны три ромбоида [[3]] известкового шпата, [2] отличающиеся друг от друга своими плоскими углами, или, что сводится к тому же, бо́льшим или меньшим наклоном своих граней. Это разнообразие углов в аналогичных формах, которые, как следует предполагать, образованы совершенно одинаковыми молекулами, представляет собой явление еще более удивительное, чем абсолютное различие, наблюдаемое между другими разновидностями того же самого шпата.

Совершенно иного рода затруднения создает сходство форм в веществах, абсолютно чуждых друг другу по своей природе. Так, опытным наблюдателям известно, сколько самых различных минералов могут принимать форму октаэдра или форму куба.

Прежде чем сообщать о способах, которые помогли мне частично устранить эти трудности, я укажу две основные цели изучения кристаллов. Во-первых, — это определение для различных форм их отличительных признаков с целью распознавания минералов. Во-вторых, сравнение таких форм между собой, определение их сходства и их различий, и даже, если это возможно, объяснение внутреннего механизма их структуры. Следуя таким путем, кристаллография сможет стать наукой с твердо установленными принципами, из которых можно будет извлечь соответствующие данные, способные пролить свет на явления, до сих пор еще покрытые мраком неизвестности.

Что касается первой из этих задач, то прежде всего представляется очевидным, что кристаллография никогда не сможет стать основой для классификации минералов. Помимо того, что минералы не все и не всегда находятся в кристаллическом состоянии, для такого метода классификации необходимо, чтобы каждый сорт минерала принимал своеобразную, только ему одному присущую форму и чтобы всякие возможные изменения были бы настолько незначительны, что не смогли бы замаскировать примитивную форму и сделать ее неузнаваемой.

Но я уже указывал, насколько формы кристаллов не способны подчиниться такому простому порядку. Эти формы могут быть, таким образом, использованы только дополнительно, в качестве второстепенных признаков, наряду с теми, которые характеризуют излом, твердость, блеск и т. д. Именно в таком плане они и были применены Добантоном в его методической классификации Минерального Царства.

Что же касается второй задачи, т. е. установления теории на основе кристаллизации, то, как мне кажется, до сего времени слишком пренебрегали исследованиями, которые позволили бы достичь этой цели.

[2] См. гл. 1, § 3, определение слова «ромбоид» в том смысле, который я счел нужным ему придать.

Признаюсь, что на первый взгляд обнаруживается столь большое число случайных форм, что сам процесс Природы представляется неуловимым, скрытым за этими случайными отклонениями. Однако при ближайшем рассмотрении можно установить, что многие формы, которые вначале казались сходными в разнородных кристаллах, отличаются друг от друга плоскими углами своих граней, относительными наклонами граней между последними, высотой осей пирамид, которые соединены часто своими основаниями, образуя один кристалл, и т. д. Кроме того, обнаруживается, что эти углы и эти оси постоянны в одной и той же разновидности кристалла, какова бы ни была страна, откуда он был доставлен, но при условии, чтобы этот кристалл имел совершенно четкие и определенные формы. Можно также заметить переходы от одной формы к другой, отчетливые градации, свидетельствующие о сходстве, которого мы с первого взгляда не могли и подозревать.

Именно эти наблюдения, произведенные тщательно и неоднократно, вызвали во мне желание сделать новый шаг в изучении кристаллов; мне представлялось это тем более интересным, что подобные явления, по-видимому, связаны с одной из общих причин движения тел и с самыми значительными явлениями Природы.

Впрочем в мои задачи не входило изыскание способа действия первоначальных сил, которым подчиняется кристаллизация. Я еще не знаю, возможно ли будет принять здесь во внимание все элементы, которые должны быть включены в подобную теорию: объем молекул, на которые определенные силы оказывают свое действие; плотность жидкости; ее температура; форма полости и другие подобные факторы, которые неизбежно играют роль в образовании кристаллов и должны быть учтены для надлежащего решения проблем этого порядка.

Я ограничил себя одним ростом исследований, более мне доступным, поставив перед собой цель определить форму составных молекул кристаллов [3] и способ их взаимного расположения в каждом кристалле. Именно это сочетание я называю *структурой*. В дальнейшем из настоящего труда выяснится, что эта структура подчиняется некоторым законам, изменения которых вызывают все разнообразие форм, наблюдаемое в кристаллах.

Результаты, к которым приводит подобная теория, смогли-быть получены только с помощью геометрии. Один вид кристаллических многогранников, которые кажутся обработанными невидимой рукой, вооруженной линейкой и компасом, наталкивает на мысль о необходимости применения точных методов математических наук для изучения подобных объектов.

Однако нужно было найти в самом объекте данные, достаточные для того, чтобы исключить всякие произвольные толкования и прийти

[3] См. гл. I, § 2.

к решениям, в которых отразились бы подлинные результаты работы Природы.

Наблюдение над известковым шпатом, имеющим форму шестигранной призмы, заканчивающейся двумя шестиугольными гранями,[4] внушило мне мысль, которая легла в основу всей теории [[4]]. Я заметил, что кристалл этого рода, случайно отделившийся от штуфа, был обломан в косом направлении, причем, судя по чистоте излома и по блеску, полировка была произведена самой Природой. Тогда я решил попытаться получить в той же призме излом в других направлениях. После многих попыток мне удалось получить с каждой стороны призмы три косых сечения. Посредством новых сечений, параллельных первым, я смог отделить ромбоид, совершенно подобный исландскому шпату, который находился в середине призмы.

Пораженный этим открытием, я взял другие известковые шпаты, как например, шпат, образующий ромбоид с крайне тупыми углами,[5] и шпат, поверхность которого состоит из двенадцати пятиугольных граней [[5]].[6] Я нашел там то же ромбоидальное ядро, как и в вышеупомянутой призме.

Аналогичные опыты, произведенные над кристаллами многих других видов, достаточно мягкими для того, чтобы их можно было четко разделить, дали мне ядра других форм, причем в кристаллах одного и того же вида эти ядра были неизменными.

На основании опытов, произведенных над вышеупомянутыми кристаллами, и по аналогии с кристаллами, которые не могли быть разделены в силу их твердости, я счел возможным установить общий принцип.

Согласно этому принципу, всякая разновидность одного и того же кристалла заключает в качестве ядра кристалл, который имел примитивную форму своего рода.

Эта форма, как видно, не является случайной, а предопределена самой Природой. Поэтому, как покажет дальнейшее изложение, примитивная форма существенно отличается от форм, выбиравшихся некоторыми авторами для различных родов кристаллов, без каких-либо доводов, основанных на опыте и наблюдении.

Примитивная форма, рассматриваемая при изучении каждого из вторичных кристаллов одного и того же рода, представляет собой многогранник, вписанный в другой многогранник, который отличается от него фигурой, числом и расположением своих граней. Это — призма без пирамиды, призма с одной пирамидой на каждом из своих концов или, наконец, совокупность правильно сгруппированных пирамид.

Если кристаллы достаточно мягки и вместе с тем не могут быть разделены, можно сделать в ядре надрезы, параллельные его граням. Обле-

[4] См. § 18.
[5] См. § 22.
[6] См. § 25.

кающее вещество разделяется также параллельно граням ядра. Таким образом, все части, которые отделяются посредством этих надрезов, сходны друг с другом и с ядром. Однако следует исключить части, расположенные на поверхности наружных слоев, которые имеют форму, отличную от других частей. Для того чтобы понять, как это могло произойти, представим себе куб, вписанный в октаэдр. Если разделить октаэдр на сечения, параллельные граням куба, то можно будет получить множество маленьких кубов внутри октаэдра. Но так как части, расположенные около поверхности, не могут иметь наружные грани, параллельные соответствующим граням куба, то они также не смогут иметь кубическую форму. Разделение их, следовательно, всегда даст остаточные обломки. Более того, даже если предположить, что части вторичного кристалла имеют формы, отличные от форм, полученных посредством сечений, о которых я говорил выше, то и в этом случае будет невозможно, принимая во внимание гладкую и полированную поверхность кристалла, свести его к совокупности совершенно подобных друг другу молекул. Если взять, например, с одной стороны ромбоид, подобный исландскому шпату, а с другой — призму с шестью боковыми гранями, оканчивающимися двумя шестиугольными гранями, которая является одной из разновидностей известкового шпата, то всякому геометру станет ясно, что эти два кристалла (предполагая, что их грани являются плоскими на всем своем протяжении) не могут состоять из одинаковых частей. Иначе говоря, ни одна многогранная форма не могла бы служить для того и другого кристалла общей мерой.

Исходя из этих соображений, я предположил, что грани вторичных кристаллов не следует рассматривать как геометрические плоскости. Я нашел в них целый ряд мельчайших неровностей. Так, например, их слои имели края, расположенные не на ребрах плоскости, а несколько отступали от них, подобно ступеням лестницы; даже во многих случаях, как это покажет дальнейшее изложение, край каждого слоя, вместо того, чтобы образовывать цельное ребро, имел зубчатую форму и обнаруживал поочередно входящие и выступающие углы.

Согласно этой гипотезе, наиболее естественной и даже, осмелюсь сказать, единственно разумной, части формы, до некоторой степени чужеродной, расположенные по контуру слоев, имели обманчивый вид. Если довести механическое деление кристалла до последнего предела, иначе говоря, вплоть до полного разделения составных молекул, то эти части совершенно исчезают. Остаются только молекулы, совершенно сходные друг с другом и с ядром, заключенным в кристалле, структура которого, рассматриваемая с этой точки зрения, оказывалась вполне однородной.

Если учесть крайне малую величину составных молекул кристаллов, то легко понять, что в случае абсолютно правильной кристаллизации, эти пустоты и неровности, о которых я говорил, будут неуловимы для наших органов чувств. Но многое еще необходимо для создания всех

условий, позволяющих Природе завершить ее работу. Целый ряд различных препятствий и случайных обстоятельств могут задержать ее работу, заставить ее действовать постепенно, оставлять свою работу незаконченной, иногда в начальном состоянии. Именно поэтому требуется внимательный глаз для того, чтобы проникнуть в ее тайны. При тщательном рассмотрении на поверхности кристаллов можно обнаружить то штрихи или бороздки, показывающие не только положение слоев, но и их убывание, то шероховатости, которые свидетельствуют о наличии на краях тех же слоев маленьких выступов.

Эти признаки, как мне кажется, подтверждают выдвинутую мною гипотезу. Однако, чтобы придать ей еще большую достоверность, надо было подкрепить ее вычислением. Здесь пришлось прибегнуть к геометрии. Не зная точной формы составных молекул, невозможно было применить вычисления. Между тем, сечения, которые можно сделать в кристалле, не дают этой формы. Они только определяют углы граней, но не относительные размеры сторон, поскольку между двумя сечениями можно всегда провести третье, которое, не меняя углов, изменит размеры фигуры, полученной в результате первых сечений. Так, например, когда делят куб морской соли [6], то можно из него извлечь по собственному усмотрению прямоугольные параллелепипеды самых различных относительных размеров в зависимости от тех расстояний, которые будут допущены между сечениями. Неизвестно, где следует остановиться, так как в каком бы месте не начали делить кристалл, сечение всегда пройдет между двух молекул, которые не могут быть изолированы вследствие их крайне малых размеров.

Для уточнения этого вопроса я выбрал сначала кристаллы, молекулы которых, вне всякого сомнения, должны были иметь совершенно правильную фигуру. Иными словами, грани их должны быть равными и сходными друг с другом. Таковы, например, кристаллы морской соли и кристаллы известкового шпата. Сама структура разновидностей этих кристаллов ясно показывает, что молекулы одного представляют собой настоящие кубы, а молекулы другого — ромбоиды. В противном случае нужно было бы считать, что ромбоэдрическое ядро известкового шпата, вместо того чтобы состоять из маленьких подобных ему ромбоидов, представляло бы собой совокупность маленьких пластинок или параллелепипедов, которые имели бы меньшую толщину, чем ширину. При этом условии, поскольку все пластинки накладывались бы одна на другую своими одинаковыми гранями, чтобы образовать ромбоид, подобный тому, о котором шла речь, следовало бы предположить, что все большие грани составных пластин будут параллельны двум противоположным поверхностям ромбоида. При этом края или маленькие грани пластин будут соответствовать другим четырем поверхностям ромбоида. Однако подобная совокупность не соответствует структуре и форме вторичных кристаллов. В большинстве из них части, накладываемые на ядро, образуют своего

рода пирамиды, сходные между собой и опирающиеся своими основаниями на различные грани ядра. Выдвинутая же мною гипотеза не допускает, чтобы пирамида, опирающаяся на одну из граней ядра и образуемая краями маленьких составных пластин, могла быть совершенно сходной с пирамидой, опирающейся на соседнюю поверхность, образуемую большими поверхностями тех же самых пластин. Симметричное расположение окружающего вещества свидетельствует, как мне кажется, о том, что все грани ядра представляют собой совокупность фигур, сходных друг с другом и с этими самыми гранями. Это позволяет предполагать, что само ядро имеет составными молекулами скорее маленькие ромбоиды, чем простые пластинки. После того, как фигура молекул была определена для кристаллов, о которых только что шла речь, посредством вычисления я нашел, что среди бесконечного числа законов убывания только крайне немногие применимы к образованию этих кристаллов.

Чтобы получить представление об этих законах, предположим, что из массы маленьких кубов необходимо образовать пирамиду правильной квадратной формы, состоящую из равномерно убывающих от основания к вершине слоев. Представляется очевидным, что для образования первого слоя надо построить квадрат из маленьких кубических тел. Последующие слои лучше строить так, чтобы каждый из них имел по своему профилю на один, два, три или некоторое число рядов меньше, чем слой, который окажется непосредственно под ним. Таким образом, кубики, которые составят последующие слои, будут представлены в виде членов убывающего ряда. Чем меньше составные кубы, тем больше вышеуказанная пирамида будет приближаться к форме пирамиды с гладкими гранями. Таким образом, если предположить, что кубы будут бесконечно малыми и что род лестницы, образуемой составными слоями при их убывании, станет незаметным для глаза — ступенчатая пирамида предстанет в виде настоящей квадратной пирамиды, высота которой будет изменяться в зависимости от того, будет ли ряд, представляющий вышележащие слои, более или менее сходящимся.

Именно так следует понимать законы убывания на краях пластин, слагающих вторичные кристаллы. Из дальнейшего изложения видно, что эти пластины в большинстве случаев убывают одинаково по своим углам, но всегда согласно определенному закону, так что части, исчезающие при каждом последующем наложении нового слоя, представляют собой ряды молекул, совершенно равных и подобных тем, которые в совокупности образуют ядро. Существование вышеупомянутых законов доказывается совпадением данных вычислений с наблюдениями, поскольку углы кристаллов как плоские, так и телесные, вычисленные в соответствии с этими законами, оказываются теми же самыми, что и углы, непосредственно измеряемые на кристалле.

Приняв эти законы и применив их по аналогии к другим кристаллам, в которых относительные размеры молекул не были определены, я произ-

вел обратную операцию над этими последними кристаллами. Иными словами, я предположил для них заранее те же самые законы убывания, которые я открыл для первых кристаллов и, основываясь на этой гипотезе, я определил посредством вычисления высоту молекул.[7] В дальнейшем я объясню, каким путем мне удалось определить также соотношения, которые сохраняют между собой стороны оснований каждой молекулы в случае, когда эти основания образуют косоугольные параллелограммы или удлиненные ромбы, как, например, это имеет место в молекулах гипса.

Вот к чему сводится сущность моего исследования над кристаллами и теория, которая будет изложена в ходе этого сочинения. В каждом отдельном случае все сводится к решению следующей общей задачи: определить для данного кристалла точную форму его составных молекул, их взаимное расположение и законы, которым следуют изменения слагающих его слоев.

Данные, с помощью которых я определял либо фигуру составных молекул, либо размер углов кристаллов, довольно часто зависели от равенства относительных наклонов некоторых граней кристалла или же равенства некоторых плоских углов. Я предполагаю это равенство абсолютным, основываясь на соображениях, изложенных ниже. Кроме того, когда один из телесных или плоских углов кристалла является прямым, я предполагаю его действительно совершенно прямым. Мне кажется, что лица, знакомые с физическими науками, найдут эти предположения вполне основательными.

Нет сомнений в том, что существуют какие-то определенные точки и определенные границы, на которых должна останавливаться Природа в ходе своих операций и своих движений. Таково, например, направление, следующее перпендикуляру, или равенство между некоторыми количествами одного и того же порядка. Таким образом, когда мы не можем заметить никакого различия между результатами наблюдения и абсолютными величинами, о которых идет речь, делается вывод, со всей возможной вероятностью, что последние существуют в действительности именно так, как мы это себе представляем.[8] Во всяком случае, даже если

---

[7] Небесполезно здесь указать, что если даже не принимать во внимание относительных размеров молекул, существование законов убывания тем не менее остается доказанным. В этом случае нельзя только решить, происходят ли убывания через одно, два, три или несколько рядов молекул. Однако утверждение относительно того, что убывания, имеющие место в этом случае, будут двойными по сравнению, например, с теми, которым подвергаются пластины в каком-либо другом случае, останется справедливым. Таким образом, предлагаемая мною теория не зависит в этом отношении от гипотезы, согласно которой самые обычные убывания происходят через один или через два ряда молекул. Вместе с тем такая гипотеза мне кажется вполне вероятной, как по причине ее большой простоты, так и потому, что она является единственной, которая соответствует структуре вторичных кристаллов, как я это доказывал выше.

[8] Например замечали, что вращение луны вокруг ее центра имеет ту же продолжительность, что и ее периодический оборот, так что невозможно было обнаружить

сделанные мною предположения сами по себе недостаточно точны, то все же вытекающие из них результаты столь близки к истинным данным, что не могут повлечь за собой никакой ошибки, ощутимой для наших органов чувств. За неимением этих данных, я иногда был вынужден, измерив один или два угла на кристаллах, выводить из этих измерений величину других углов.[9]

Во всех случаях, когда имелась возможность, я доводил точность вычисления углов до секунд градуса, в других случаях я ограничивался минутами. Для того чтобы проверить на самом кристалле углы, найденные с помощью вычисления, мной был использован инструмент, изготовленный специально для этой цели со всей возможной тщательностью. В результате я обнаружил, как уже указывалось выше, что углы, о которых идет речь, постоянно подобны тем, которые были определены мною с помощью тригонометрии. Различия, даже если они имели место, были настолько малы, что нельзя было их приписать влиянию других законов убывания. Они могли обусловливаться, по-видимому, только некоторыми незначительными отклонениями, вызванными особыми обстоятельствами. Мне кажется, что в этом случае, как и во многих других, следует рассматривать данные, полученные посредством вычисления, как пределы, к которым приближается работа Природы в тех случаях, когда она почти не встречает препятствий на своем пути. При отсутствии этих препятствий она должна была бы достигнуть этих же самых пределов и обнаружить такую же точность результатов, которую нам удается получить в наших вычислениях.

Теория, которую я только что изложил, позволяет легко проследить все переходы от одной формы к другой и объяснить появление граней, заменяющих в некоторых кристаллах вершины или ребра. Такие грани я назову так же, как и Добантон, «дополнительными гранями». Например, если слои, убывающие просто по своим краям в одном кристалле, в то же время убывают по своим углам в другом кристалле, последний будет

какого-либо заметного различия между этими двумя величинами. Основываясь на этом наблюдении, астрономы считают себя вправе предполагать их абсолютное равенство.

[9] Эта взаимозависимость различных углов кристалла достаточна сама по себе для доказательства того, что применение геометрии к изучению кристаллов не так бесполезно, как это можно было бы подумать. Механические способы получения плоских и телесных углов кристалла нередко приводят к величинам, несовместимым между собой и противоречащим принципам геометрии. Всякому сведущему в этой науке известно, что величина различных углов кристалла неизбежно вытекает из величины одного или двух первых углов и что величина третьего угла треугольника следует из величин двух других. Впрочем, при вычислении можно свободно выбрать за основные те углы, которые лучше всего выражены на кристаллах. Однако некоторые части последних подвержены отклонениям, способным исказить показания инструмента. Можно также исходить последовательно из двух или трех ясно выраженных углов и затем сравнить полученные результаты. Путем исправления одних данных другими мы добиваемся большей точности.

иметь на несколько граней больше, чем первый. Такие грани будут то вертикальными, то более или менее наклонными в зависимости от того, совершалось ли убывание по более медленному или более быстрому закону. Эти наклоны могут происходить только по небольшому числу различных градусов, зависящих от высоты молекул и от законов, управляющих кристаллизацией. Поэтому число разновидностей одного и того же кристалла неизбежно будет ограниченным.

Когда говорят, что данный кристалл есть ни что иное, как другой кристалл с неполным числом ребер или телесных вершин, то тем самым устанавливают факт, объяснение которому может дать закон убываний. Имеются также кристаллы, отличающиеся от других кристаллов только тем, что они более удлинены в определенном направлении. Некоторые кристаллы, вместо того, чтобы состоять из двух пирамид, приложенных друг к другу основаниями, имеют призму, вставленную между двумя пирамидами, что также является своего рода удлинением.

Все эти видоизменения вытекают из принципов, установленных мною выше. Следует, однако, отметить, что, даже если придерживаться только фактов, невозможно установить выгодного метода для определения градации форм, принимаемых кристаллом, если не исходить из истинной первичной формы данного рода. Иными словами, как мне кажется, я сумел доказать, что надо исходить из формы, образуемой плоскостями расколов в кристаллах, и других признаков структуры в сочетании с законами, которым подчиняется механизм этой структуры. Всякое исследование, не направленное к этой цели, окажется ошибочным, так как оно не будет соответствовать естественному ходу Природы. Если даже оно иногда и будет с ним совпадать, то это окажется случайностью, а не результатом применения принципов определенного метода, который сам по себе может оказаться произвольным.

Таким же образом, если указывают переход от одной формы к другой посредством отыскания некоторых частей или посредством удлинения кристалла в определенном направлении, то эти указания окажутся справедливыми только в тех случаях, когда само явление, если можно так выразиться, бросается в глаза или же будет невозможно ошибиться относительно соответствия углов. Если новый закон убывания будет вызывать в одной какой-либо разновидности кристалла новые углы, [10] заметно приближающиеся по своей величине к углам примитивной формы, то это может привести к следующим последствиям: определяя направление изменения этой формы механическими способами, которые никогда не могут дать точной величины углов, в особенности на маленьких объектах, легко принять переход от одной формы к другой в направлении, не соответствующем характеру структуры. Можно смешать вторичные

[10] В главе о тяжелых шпатах (стр. 56) [7] можно видеть несколько примеров с чрезвычайно близкими значениями для совершенно разнородных углов.

углы с первичными углами, от которых они в действительности отличаются, хотя и на очень малую величину (например, на один или два градуса); или же, наконец, можно приписать на двух кристаллах одного вещества различные величины одному и тому же углу, не опознав его.

Во всех исследованиях этого рода следует обязательно исходить из структуры во избежание ошибок, к которым может привести рассмотрение по отдельности только внешних форм.

Из вышеизложенного следует, что все вторичные формы представляют собой не что иное, как разновидности первичной формы, образовавшиеся вследствие избытка или недостатка вещества. Например, ромбоэдрическая форма исландского шпата является примитивной формой рода известковых шпатов. Возьмем далее известковый шпат с двенадцатью пятиугольными гранями. Этот последний кристалл можно рассматривать как образовавшийся из ядра исландского шпата с добавлением вещества, которое превращает его в двенадцатигранник. С этой точки зрения, двенадцатигранник будет только разновидностью исландского шпата с избытком вещества. С другой стороны, обратим внимание на то, что слои, добавленные к исландскому шпату, остались неполными либо с краев, либо с вершин при переходе от ромбоэдрической формы к форме двенадцатигранника. Далее предположим, что все слои, слагающие вещество вокруг ядра, становятся вдруг полными путем добавления частей, которых им недостает. В этом случае двенадцатигранник станет ромбоэдрическим кристаллом, подобным ядру, за исключением того, что его объем будет более значительным. Тот же самый двенадцатигранник, рассматриваемый с этой точки зрения, будет разновидностью исландского шпата с недостатком вещества.

Я уже говорил, что довольно часто кристаллы различного характера принимают сходные формы. Трудность, которую создает это сходство, может быть отчасти устранена благодаря моим наблюдениям над структурой кристаллов. Я нашел, что те, которые имеют одну и ту же форму, обычно состоят из молекул, отличающихся друг от друга очертаниями, но посредством различных сочетаний, образующих многогранники, ограниченные одним и тем же способом. Таким образом, кубическая морская соль и фосфоресцирующий шпат [8] одной и той же формы имеют молекулы: первая — в форме кубов, а второй — октаэдра.

Однако вполне вероятно, что существуют кристаллы различной природы, которые, независимо от того, обладают ли они одинаковой или неодинаковой формой, представляют собой совокупность сходных между собой составных молекул. Так как последние сами состоят из простейших молекул, то возможно, что различные начала (элементы), соединяющиеся различным способом, производят составные молекулы одинаковой формы, таким же образом, как и составные молекулы, отличающиеся по своей фигуре, образуют многогранники, сходные по внешнему виду.

В связи с этим, вопреки всем противоположным высказываниям, мне кажется, что кристаллы, сходные друг с другом по форме, всегда будут иметь различную природу, если образующие их составные молекулы имеют различную форму. С другой стороны, по-моему, нет никаких оснований допускать версию, согласно которой при сходстве по форме молекул, природа кристаллов также одинакова.

Изучение кристаллов может, таким образом, только отчасти устранить трудности, о которых я говорил. Для полного разрешения проблемы, необходимо было бы определить форму первоначальных молекул, что пока еще не представляется возможным, несмотря на значительные успехи, достигнутые химией за последнее время.

Какими бы простыми и правдоподобными не казались мне с самого начала вышеизложенные соображения, я все же твердо решил не полагаться только на мое собственное мнение. Крайне ценное для меня одобрение я получил со стороны г-на Добантона, руководившего моими первыми шагами в области изучения естественной истории. Он же оказал мне величайшую услугу, проявив интерес к моей работе и посоветовав представить ее на рассмотрение Академии. Я был бы счастлив, будь у меня возможность почерпнуть из его уроков эту верность взгляда, этот точный способ изучать, прослеживать, углублять предмет исследования таким образом, чтобы дать представление о всех точках зрения и не оставить в тени ни одной его стороны.

Предпринятая мною попытка применить геометрию в области естественной истории привлекла ко мне также сочувственное внимание г-на Безу [9]. Никто, пожалуй, не имеет больше оснований чем я разделять сожаления Академии, оплакивающей в лице этого любезного и добродетельного ученого одного из самых знаменитых своих членов. Г-н де Лаплас [10], известный своими глубокими изысканиями в нескольких областях математических вычислений, а также своими разнообразными знаниями, разрешил мне изложить ему мою теорию и побудил к новым исследованиям, результатом которых явилось открытие законов, управляющих структурой кристаллов.

Я признаюсь, что считаю для себя вдвойне лестным выразить здесь мою признательность этим ученым и в то же время сослаться на имена, достойные всякого доверия.

В то время, когда я начал заниматься изучением структуры кристаллов, мне удалось прочесть мемуар г-на Т. Бергмана [11] о кристаллизации, помещенный в сборнике трудов Академии г. Упсалы от 1779 года. Этот знаменитый химик поставил себе целью свести образование различных кристаллов к форме исландского шпата, иначе говоря, ромбоидального кристалла, в котором тупой угол каждой плоскости равен $101^1/_2$°. Эта форма является как бы основанием всего исследования Бергмана, который стремится объяснить образование нескольких известковых шпатов, гиацинта, двенадцатигранного граната [12], нескольких шер-

лов [13] и марказита с двенадцатью пятиугольными гранями [14]. Он предполагает, что эти различные кристаллы образовались то постоянными, то убывающими плоскостями (гранями), которые скапливаются на поверхностях центрального ромбоида. Я был особенно поражен его истолкованием формы известкового шпата с двенадцатью гранями в виде неравносторонних треугольников. Изложение его будет дано в главе, посвященной таким кристаллам (§ 33). Это объяснение вполне соответствует данным Природы. Г-н Бергман сам проверил его посредством расколов, сделанных в кристалле. Если бы при исследовании других кристаллов он таким же образом следовал указаниям Природы, а не увлекался чисто гипотетическими концепциями, не подтверждаемыми наблюдением (как об этом можно судить из полемики, изложенной в § 26, по поводу данного им истолкования формы шпата с двенадцатью пятиугольными плоскостями), то он достиг бы полного успеха и ему принадлежала бы честь опубликования первых удовлетворительных данных относительно структуры кристаллов. [11]

Теперь следует сказать несколько слов о том плане, которого я старался придерживаться при работе над этим сочинением. В двух первых главах я развил с наивозможной для меня ясностью принципы, на которых базируется теория структуры кристаллов. Показательные примеры я выбирал среди кристаллов, форма которых казалась мне наиболее простой. Следующие главы повествуют о применении этой теории к исследованию кристаллических веществ следующих шести родов: известковые шпаты, тяжелые шпаты, фосфоресцирующие плавиковые шпаты, гипсы, гранаты и топазы Саксонии и Бразилии.

Каждую главу я начинаю с определения примитивной формы данного рода [12] и одновременно с формы молекул, слагающих кристаллы этого рода. Далее, я перехожу к вторичным формам, которые показались мне наиболее замечательными. Вначале я отмечаю развитие кристалла, являющееся как бы его определением. Затем объясняю его структуру и устанавливаю законы убывания, которым подвержены образующие его пластины. Наконец, из этих законов я вывожу величины плоских углов. В вычислениях, необходимых для измерения этих углов, я стремился

[11] Г-н Бергман опубликовал с тех пор в Сборнике статей по химии (том II, стр. 1 и сл.) тот же самый трактат, который он значительно расширил, прибавив к нему новые гипотезы относительно образования первых молекул кристаллов. Последние не имеют никакого отношения к моему способу рассмотрения кристаллизации.

[12] Термин «примитивная форма» принимается мной в менее узком смысле, чем я мог бы это сделать, разумея под этим форму составных молекул. Рассматриваемая в этом сочинении примитивная форма — это та форма, которая может быть разделена только сечениями, параллельными ее различным плоскостям, и пластины которой, когда их снова делят, дают без какого-либо остатка части, сходные между собой и сходные с составными молекулами. Такой способ рассмотрения, кажется мне, более соответствует ходу Природы, чаще образующей кристаллы в той форме, о которой я только что говорил, чем в той, которая точно представляла бы составную молекулу данного рода.

использовать как можно меньше угловых величин. Известно, что величины логарифмов синусов, косинусов, тангенсов и т. д., так же как и логарифмы натуральных чисел, могли быть определены только приблизительно. Поэтому после решения целого ряда треугольников результаты неизбежно заключают в себе некоторые незначительные погрешности. Ввиду этого я предпочел во всех случаях, где это было возможно, прибегнуть к уравнениям, точно передающим соотношения линий, служащих данными для решения задачи. Этот метод, помимо того, что он обладает большей точностью, имеет также и то преимущество, что он дал мне возможность открыть в кристаллах некоторые геометрические свойства. Хотя последние, в сущности, не имеют прямого отношения к моей теории, но они показались мне довольно любопытными и заслуживающими внимания. Соответственные примеры приведены в разделе об известковых шпатах.

В заключительной главе этого сочинения содержатся некоторые соображения относительно самого образования кристаллов, а также мои предположения, определяющие соотношения их роста со структурой.

Новизна теории, требующей дальнейшего усовершенствования, и то широкое поле исследования, которое мне еще предстоит пройти для того, чтобы довести свой труд до конца, позволяют пока предложить это сочинение читателям только в качестве простого опыта. Я считаю своим долгом принять к сведению все замечания, которые мне будут сделаны с целью уточнения результатов моей работы или исправления того, что не вполне соответствует Природе в моих истолкованиях структуры кристаллов. Следуя тем же принципам, я намереваюсь исследовать, по возможности, наибольшее число кристаллических веществ. На основании уже завершенных опытов думаю, что среди них найдутся многие, которые обнаружат крайне незначительные признаки структуры и поэтому не позволят вынести какое-либо окончательное решение.

Излагая свои мысли, я представляю их только, как простые замечания, требующие проверки в дальнейших наблюдениях. Однако и в таком виде они смогут стать в искусных руках предметом более глубоких и удачных изысканий.

Надеюсь, что я смогу найти у истинных ученых сочувственный прием, который позволит мне расширить мои замыслы, умножить опыты и, таким образом, внести свой вклад в прогресс науки, еще крайне молодой, но уже привлекающей к себе внимание достойных исследователей. Не представляет сомнений, что эта наука займет свое место среди многообразных знаний, которыми стал богат наш век благодаря человеческому разуму.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРУКТУРЕ КРИСТАЛЛОВ И О СУЩЕСТВОВАНИИ ПЕРВИЧНОЙ (ПРИМИТИВНОЙ) ФОРМЫ, ЗАКЛЮЧАЮЩЕЙСЯ В КАЖДОМ ИЗ НИХ

1. Если рассматривать Природу внимательным и беспристрастным взглядом, то можно легко убедиться в том, что минералам совершенно не свойствен тот род строения, который склонны им приписывать некоторые авторы. Они предполагали наличие внутри кристаллов подобия кровеносных сосудов, предназначенных для проникновения жидкостей, а также внутреннее движение, способствующее течению этих жидкостей, а вместе с тем и развитию, и сохранению индивида.

Внимательное изучение минералов, наоборот, показывает, что в их внутренних частях отсутствует какая-либо подвижность и гибкость. Это — простая структура, без органов и без функций, одним словом, симметричное скопление молекул, последовательно соединенных друг с другом посредством силы притяжения. Природа и способ действия этой силы до сих пор еще мало изучены, но ее существование, о котором свидетельствуют многочисленные факты, не подлежит никакому сомнению.

2. Всякий минерал, имеющий правильную форму, с гранями, которые могут быть представлены в виде геометрических фигур, носит название кристалла. При изучении структуры кристалла следует принимать во внимание: 1) форму его составных молекул и 2) их взаимное расположение, от которого зависит сама форма кристалла. Под *составными молекулами* я понимаю те молекулы, которые, будучи сначала взвешенными в жидкости, где они находились в растворе, соединились затем друг с другом, образовав многогранники правильной формы. Все, что происходит до этого момента, находится в ведении Естественной Истории. Химик же, работа которого начинается там, где кончается труд естествоиспытателя, разлагает кристаллы на их составные молекулы, чтобы найти в них основные элементы тел.

3. Среди различных форм, принимаемых одним и тем же кристаллическим веществом, имеется одна форма, которую следует рассматривать как первичную. Все другие формы представляют собой только ее разновидности, хотя на первый взгляд может иногда и показаться, что они имеют с ней очень мало общего. Первичная форма, как это видно из дальнейшего объяснения, указывается самой Природой, а не выбирается произвольно и как бы случайно. Она представляет собой: правильный куб у морской соли и октаэдр — у плавикового шпата, а у других родов кристаллов — ромбоид, [13] углы которого будут изменяться в зависимости от природы кри-

[13] Я буду называть в этом сочинении *твердым ромбоэдрическим* телом, или просто *ромбоидом* — косоугольный параллелепипед, шесть граней которого образуют совер-

сталлического вещества. Первая форма, по всей видимости, представляет собой результат наиболее совершенной кристаллизации, на которую только способен данный минерал. Но это не обязательно та форма, которая встречается наиболее часто. Так, куб попадается в плавиковом шпате значительно чаще, чем октаэдр, хотя именно октаэдр является первичной формой для этого рода кристаллов. Все формы, отличающиеся от первичной, будут носить в этом сочинении название *вторичных форм*.

4. Имеется некоторое число кристаллов настолько мягких, что они могут быть разделены с помощью режущего инструмента.

После нескольких проб и опытов удается найти стыки слоев (пластин), из которых состоят эти кристаллы, отделить эти слои один от другого и разделить затем каждый из них на правильные части. При этом поверхности этих частей сохранят тот блестящий глянец, который придает им сама Природа.[14] Подобное деление кристаллов дает наиболее точные показания относительно их структуры, тем более что для получения частей с гладкими и блестящими поверхностями кристалл следует делить только в определенном направлении. Если попытаться произвести сечения в других направлениях, то получатся только обломки неправильной формы, так как в этом случае уже не делят кристалл, а разбивают его.

5. Мне удалось установить, что все кристаллы, поддающиеся таким делениям, заключают в себе ядро первичной формы, какова бы ни была форма кристалла, подвергающегося этой операции. Таким образом, снимая путем последовательных и параллельных надрезов все вещество, покрывающее это ядро, можно легко его раскрыть. Посредством аналогии и основываясь на внешних признаках структуры, о которых речь будет позже, я смог распространить это наблюдение и на те кристаллы, которые не могли быть разделены вследствие их чрезмерной твердости. Таким образом, мне представляется очевидным, что это явление присуще всем родам кристаллических веществ. Чтобы подтвердить высказанное

шенно равные и подобные друг другу ромбы. Наименование «ромбоид», которому геометры приписывают иное значение, показалось мне наиболее простым; кроме того, оно основывается на аналогии с выражениями: *сфероид*, *эллипсоид* и т. д., которые обозначают твердые тела, а не простые поверхности.

[14] Лишь незначительное число камней или кристаллических солей не обнаруживает чистых срезов в направлениях, параллельных по меньшей мере двум противоположным поверхностям первичной формы. Для большинства камней можно произвести операцию, подобную той, которую делают гранильщики при раскалывании драгоценного камня. Мне удалось даже найти некоторое число металлических веществ, которые поддавались такой операции. После того, как будут определены эти срезы, положение других поверхностей определяется значительно более легко, на основании других показателей структуры, наблюдаемых на кристаллах. Это различие в сцеплении относительно разных поверхностей соседних молекул в некоторых кристаллах зависит, как мне кажется, главным образом от самой протяженности этих поверхностей и от числа точек соприкосновения, которое увеличивается на поверхностях более сильным сцеплением.

мною предположение примером, я остановлю свой выбор на кубическом фосфоресцирующем шпате из-за крайней простоты его формы.

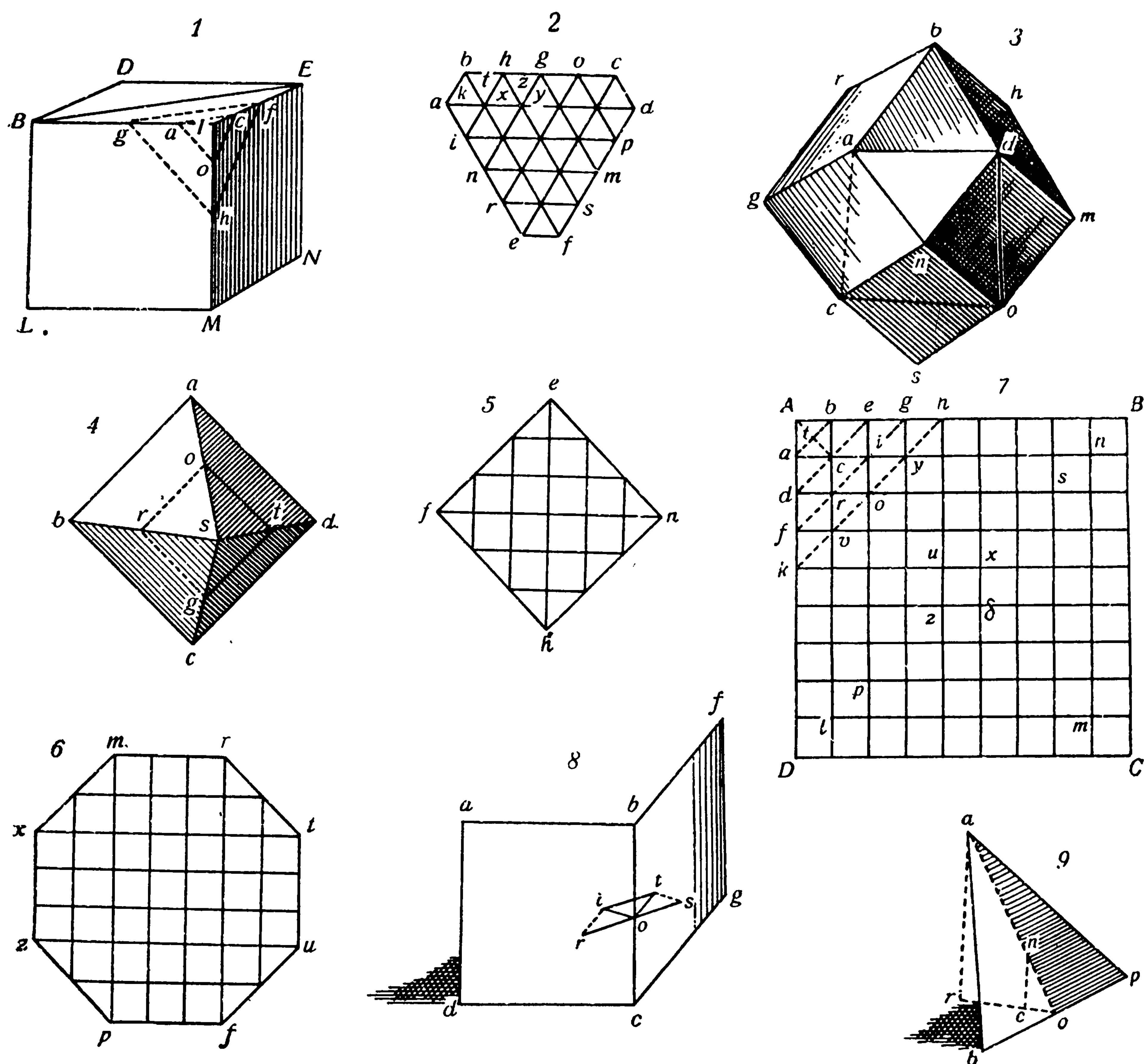


Рис. I.

Пусть *BDENML* (рис. I, фиг. 1) — один из таких кубических кристаллов. Если попытаться разделить его посредством сечений, параллельных его граням, то мы встретимся со значительным сопротивлением. Если даже и удается преодолеть это сопротивление после некоторых усилий,

то получатся только обломки неправильной формы. Но если направить режущую поверхность по линии *gf*, параллельной диагонали *BE* какой-либо одной из шести граней, и если, кроме того, придать этой режущей поверхности по отношению к данной грани наклон приблизительно в 54° с половиной, [15] то можно будет без труда снять пирамиду или вершину *Jghf*, основанием которой является равносторонний треугольник *gfh*. В каком бы месте не начать сечение, его повсюду можно производить с одинаковой легкостью при условии, что режущая плоскость будет всегда направлена под указанным углом. Отсюда следует, что, производя параллельные сечения на маленьких расстояниях друг от друга в пирамиде *Jghf*, можно снять треугольные равносторонние слои, которые будут равномерно увеличиваться по направлению к центру кристалла.

Предположим, что мы производим деление последовательно на восьми вершинах кристалла и в соответствующих частях, расположенных на равных расстояниях от центра. Когда будет достигнута середина сторон кристалла, соседние сечения придут в соприкосновение, а за этой границей они пересекут друг друга. Таким образом, равносторонние треугольники останутся неполными в своих вершинах и преобразуются в шестиугольники, как например *abcdfe* (фиг. 2). При последующих сечениях малые стороны *ab*, *cd*, *fe* этих шестиугольников будут постепенно нарастать, и в одной из точек шестиугольник станет правильным, как *hopsri*. Если продолжить сечения за этой границей, стороны *op*, *sr*, *ih* шестиугольника станут в свою очередь большими сторонами и будут все время возрастать. В конце концов фигура превратится в равносторонний треугольник *gnm*, тогда и обнаружится ядро куба, которое будет иметь форму октаэдра с равносторонними треугольными гранями. В этом ядре можно также произвести сечения, параллельные его различным граням. Каждая из составных пластин данного кристалла (это относится в равной степени и ко всем другим кристаллам) также может быть подразделена посредством сечений, параллельных граням ядра. Однако, когда механическое деление доведено до своего предела, продолжать деление невозможно, поэтому чрезвычайно трудно разгадать, из каких частей в конечном итоге состоит фосфоресцирующий шпат. Поэтому я ограничусь пока рассмотрением октаэдрического ядра, которое извлекается из кристалла после вышеуказанных сечений. Ядро может размещаться в любом месте внутри кристалла, поскольку нет ни одного участка, где нельзя было бы произвести сечения, параллельного граням октаэдра. Однако тот способ деления, который я указал, проливает больший свет на структуру кристаллов, поскольку он позволяет рассматривать первичную форму как основную часть, общую для всех кристаллов одного и того же рода. Она занимает центр кристалла и вокруг нее располагается все остальное

[15] Истинной мерой этого угла будет 54°44′, как легко можно убедиться из вычисления согласно расположению ядра.

кристаллическое вещество, комбинируемое различным способом в зависимости от разновидности кристалла.

6. Я не утверждаю, что куб фосфоресцирующего шпата был вначале октаэдром, имевшим пропорционально меньший объем, который принял затем форму куба благодаря наслаиванию шестиугольных и треугольных пластин. Самые маленькие кристаллы, которые только можно разглядеть с помощью микроскопа на кусках жильного фтористого шпата, имеют уже кубическую форму. Они, без сомнения, увеличивались бы путем последовательного наложения слоев с квадратными поверхностями, если бы обстоятельства благоприятствовали такому приросту. Отличие этих слоев друг от друга может быть обнаружено внутри многих кристаллов по различному цвету или по степени прозрачности. Я считаю поэтому, что работа Природы с самого первого момента ведет в силу законов кристаллизации к созданию мельчайших кубических кристаллов, каждый из которых содержит уже в качестве ядра маленький октаэдр. Этот октаэдр увеличивается вместе с целым кристаллом, с которым он постоянно находится в определенном соотношении, имея в виду твердость и поверхность. Таким образом, когда речь идет о пластинах, покрывающих ядро кристалла, я буду решать проблему только в отношении структуры этого кристалла, не принимая во внимание его образование. Принципы, на которых основывается это различие, будут изложены мной в дальнейшем более подробно. Ниже остановлюсь на характере взаимосвязи роста кристаллов с их структурой.

Глава II

О ЗАКОНАХ УБЫВАНИЯ, КОТОРЫМ ПОДЧИНЕНЫ СОСТАВНЫЕ ПЛАСТИНЫ КРИСТАЛЛОВ, РАССМАТРИВАЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПЕРЕХОДА ОТ ПЕРВИЧНОЙ ФОРМЫ К ВТОРИЧНЫМ ФОРМАМ

7. Существование первичной формы в каждом из вторичных кристаллов уже помогает нам установить реальность положения, выдвигавшегося многими авторами, но без ясных и ощутимых доказательств. Дело в том, что все разновидности одного и того же кристалла происходят от одной формы, изменяющейся различными способами в соответствии с изменениями, которые претерпевает первоначальный закон кристаллизации в силу тех или иных обстоятельств. Я попытаюсь осветить этот вопрос наиболее полно, рассмотрев структуру частей, наложенных на ядро в кристаллах вторичной формы. Это наблюдение помогает выяснить одно из наиболее важных положений теории кристаллов, поскольку оно позволяет нам установить законы убывания для составных пластин. Основываясь на этих законах, можно определить фигуру их составных

молекул и вычислить с наибольшей возможной для данного предмета точностью величины плоских или телесных углов для всех форм, как первичных, так и вторичных.

8. Разберем сначала пример, относящийся к крайне простой кристаллизации. Предположим, что куб может быть четко разделен только путем сечений, параллельных его граням. Предположим, кроме того, что шесть квадратных пирамид одинаковой высоты, четырехугольные основания которых, равные граням куба, покоятся на этих же самых гранях. Тогда фигура твердого тела превратится в другую, имеющую двадцать четыре треугольные грани, состоящие из суммы краев всех убывающих по размерам пластин, совокупность которых и образует упомянутые пирамиды [[15]]. Ось этих пирамид может изменяться по высоте в зависимости от быстроты закона убывания пластин. Если представить себе, что этот закон будет таким, как это необходимо для слияния двух смежных граней соседних пирамид в одну плоскость, то общее число граней сократится вдвое и мы будем иметь твердое тело в форме додекаэдра (фиг. 3) с гранями в виде ромбов, подобных и равных друг другу, и с ядром кубической формы [[16]]. Ниже я опишу закон убывания, имеющий место в случае одинакового уровня смежных поверхностей, о котором я только что говорил. Если такой додекаэдр является делимым, то было бы нетрудно отделить от него последовательно все убывающие пластины, наложенные на ядро. Так как эти пластины могут быть подразделены только посредством сечений, параллельных граням того же самого ядра, то эти сечения, сделанные на соответствующих расстояниях, разделят каждую из составных пластин на некоторое число правильных кубов. Однако на боковых сторонах этих пластин будут, по всей видимости, только части кубов по причине наклона краев составляющих грани пирамид. Это видимое отсутствие единообразия в структуре кристалла создает трудность, которую мне удалось разрешить (к этому вопросу я вскоре вернусь).

Если имеются кристаллы вышеописанной формы, которые не могут быть разделены из-за своей твердости, то о их структуре можно судить по штрихам или бороздкам, параллельным основаниям *ad*, *do*, *oe*, *ae* и т. д. пирамид, наложенных на ядро. Природа этих кристаллов еще не определена точно. [16] Додекаэдрический гранат [[17]] имеет ту же самую форму, но совершенно иную структуру. И это не единственный случай, когда нам придется встретиться с кристаллами, внешне совершенно подобными,

---

[16] Я предполагаю, что эти кристаллы имеют такую же природу, как и гиацинт коричневого цвета [[18]], который находят среди продуктов извержения Везувия. Форма его объясняется очень естественно наложением квадратных пластин на две противоположные грани куба или прямоугольного параллелепипеда [[19]], которые убывают по своим углам на два ряда молекул. Углы, которые образуются при этом убывании, абсолютно равны тем, которые наблюдаются. Однако это только предположение, которое необходимо подтвердить новыми фактами.

но состоящими из молекул, значительно разнящихся между собой либо по всей фигуре, либо по своему расположению.

9. Пластины, наложенные на ядро, могут убывать не только по направлению к своим краям (сторонам), но также и к углам. Этим и объясняется столь большое разнообразие форм вторичных кристаллов. Поясним это новым примером, относящимся к октаэдру морской соли. Теперь известны искусственные кристаллы этой формы, которые сперва получил М. Руэлль [20] путем кристаллизации этой соли. [17]

Пусть *abcds* (фиг. 4) представляет октаэдр морской соли. Его можно разделить, только сделав сечения *orgt*, параллельные общим основаниям четырехугольных пирамид, из которых образовался октаэдр. Первые пластины, отделенные от вершин телесных углов, имеют четырехугольные фигуры, которые увеличиваются одинаковым образом по направлению к центру кристалла. Кроме того, очевидно, что края этих пластин при условии, что они имеют определенную толщину, наклонены по отношению к их большим граням. Если сделать подобные сечения последовательно для шести телесных углов (вершин) октаэдра, то, после того как будет пройдена середина ребер, где соприкасаются секущие плоскости, соседние сечения, пересекаясь друг с другом, вызовут исчезновение четырех углов квадратов, которые превратятся в восьмиугольники *mrtufpzx* (фиг. 6). При последующих сечениях стороны *mx*, *zp*, *fu*, *rt* этих восьмиугольников будут убывать до тех пор, пока восьмиугольник снова не примет квадратную форму. В этот момент откроется кубическое ядро кристалла. Если мы начнем дальше рассекать квадратные пластины, которые были сначала отделены от кристалла, то линии сечений пересекутся так, что образуются целые квадраты в середине пластины и прямоугольные равнобедренные треугольники на их краях (фиг. 5). Сечения, сделанные подобным образом в восьмиугольных пластинах, вызовут совокупности квадратов и треугольников, расположенных так, как это изображено на фиг. 6. Таким образом, единственно только квадратные пластины, отделяющиеся от ядра, будут иметь поверхности, состоящие исключительно из маленьких квадратов.

Для того чтобы выяснить убывание пластин по углам, нужно только взять эти пластины в порядке, обратном тому, который только что описан для деления кристалла. Иными словами, надо идти от ядра к поверхности октаэдра.

10. Спайные осколки пластин, которые получаются при таком разделении, по всей видимости, свидетельствуют об отсутствии единообразия в структуре кристалла еще более заметном, чем в додекаэдрическом кристалле, о котором я уже говорил. Действительно, в последнем поверхности

---

[17] Я не считаю возможным определить здесь, зависит ли октаэдрическая форма этой соли от какого-либо особенного начала, которое якобы повлияло на его кристаллизацию. Для цели моего исследования достаточно знать, что эта соль делится на кубы столь же правильно и ясно выраженные, как и те, которые получают из обыкновенной морской соли.

присоединяемых пластин состоят исключительно из подобных друг другу фигур, и некоторое затруднение возникает только вследствие наличия наклонной плоскости, наблюдаемой у краев этих пластин. Октаэдрический же кристалл, помимо этой плоскости, обнаруживает еще сочетание квадратов и равнобедренных треугольников на больших плоскостях пластин. При этом не представляется возможным механически подразделить какой-либо из этих квадратов на два треугольника, что устранило бы в какой-то мере создавшуюся трудность.

11. По-видимому, не существует вторичного кристалла, структура которого не обнаруживала бы тот или иной род неправильности, причем в некоторых из них наблюдаются одновременно несколько неправильностей. Таким образом, если ограничиться простой видимостью, то представится возможным согласовать ясные и заметные данные наблюдения с тем единообразием, которое мы склонны допустить в составе тел, принадлежащих к одному и тому же веществу. Только существование общей первичной формы, заключенной в каждом из этих тел, обусловливает их сходство, позволяющее предполагать между самими частями, окружающими ядро, более совершенное соотношение фигур, чем то, на которое указывает первое наблюдение над структурой.

Нельзя утверждать, что истинные составные молекулы кристаллов могут быть подобны частям, которые, как кажется, отсутствуют в маленьких кристаллах, расположенных на краю присоединяемых слоев. Тогда каждый кристалл должен был бы состоять из частей, имеющих такую же фигуру, как и части, которые оказались бы отделенными. Поскольку очень часто случается, что в одном и том же кристалле пластины убывают, одни по краям, а другие по углам, как это указано выше, то легко видеть, что части, изъятые с одной стороны, не могут походить на те, которых будет недоставать с другой. Итак, было бы неправдоподобным допустить для составных молекул одного минерала наличие тел самой различной формы.

12. Гипотеза, которую я принял для разрешения вышеуказанной трудности, представляется мне более простой и более естественной. Кроме того, она подтверждается данными наблюдения и вычисления. Эта гипотеза предполагает, что при убывании дополнительных пластин происходит выпадение части молекул или кристаллов, абсолютно подобных тем, из которых состоит ядро. Иными словами, каждая пластина будет иметь у краев или углов на один или два ряда составных молекул меньше, чем пластина, расположенная непосредственно под ней.

Мне приходилось наблюдать то один, то другой из этих законов убывания. [18] Предположим, например, что в додекаэдре с ромбическими гранями, структуру которого я только что объяснил, одна из граней кубического ядра представлена квадратом *ADCB* (фиг. 7). Большая грань

---

[18] Встречаются также кристаллы, в которых слои убывают посредством удаления трех рядов молекул, но это случается редко.

первого дополнительного слоя изображается квадратом *clmn*, грань второго *opqs* и т. д. Очевидно, что убывания произойдут путем удаления простого ряда молекул, имеющих точно кубическую форму. Это в настоящем случае является законом, которому подчиняются слои кристалла. Закон этот будет доказан мной ниже. Если, в отличие от предыдущего, указанные грани представлены последовательно квадратами *ADCB*, *opqs*, *uzδx* и т. д., тогда убывания произойдут посредством удаления двойного ряда молекул. Так как этот закон убывания будет действовать быстрее, чем предыдущий, то высота пирамид, наложенных на ядро, будет вполовину меньше высоты в додекаэдре с ромбическими гранями. И в том, и в другом случае поверхности вторичного кристалла будут представлять собой сумму всех выступающих ребер *AD*, *cl*, *op* и т. д. Последние, будучи сближенными друг с другом, вследствие крайне малой величины составных молекул будут иметь вид ровной плоскости. В действительности же эти грани испещрены множеством штрихов или бороздок, незаметных для глаза в том случае, когда работа Природы достигла высшей степени совершенства. Но если процесс кристаллизации будет нарушен каким-нибудь случайным обстоятельством и если убывания слоев не произойдут по совершенно равным степеням, то на поверхностях кристалла смогут появиться неровности в виде заметных для глаза штрихов. Это можно наблюдать на целом ряде кристаллов, в частности на тех, о которых здесь идет речь.

13. Перейдем теперь к убываниям, происходящим по направлению к углам пластин, как это имеет место в кристалле октаэдрической морской соли. Одна из граней ядра по-прежнему будет представлена квадратом *ABCD* (фиг. 7). Предположим теперь, что вышеуказанные убывания происходят посредством выпадения простого ряда молекул, как это имеет место в вышеупомянутом октаэдре. Тогда при первом снятии слоя у угла *A* окажется удаленным только один кубик, к которому относится маленькая грань *Aacb*. При втором снятии слоя будут удалены два кубика: *adrc*, *bcie*. При третьем снятии слоя исчезнут три кубика с верхними гранями *dfvr*, *croi*, *eiyg* и т. д. Таким образом, края присоединенных слоев будут состоять последовательно из ребер, заканчивающихся точками *a*, *b*; *d*, *c*, *e*; *f*, *r*, *i*, *g*; *k*, *v*, *o*, *y*, *h* и т. д. Так как составные молекулы чрезвычайно малы и указанные точки расположены по прямым линиям *ab*, *de*, *fg*, *kh* и т. д., то грани кристалла, состоящие из суммы ребер, к которым относятся эти точки, представятся, как и в первом случае, равными плоскостями, хотя в действительности их грани будут сплошь испещрены маленькими бугорками по числу, соответствующему числу выступающих ребер.

В тех случаях, когда не все условия, требуемые для совершенной кристаллизации, имеются налицо, отсутствие какого-либо из этих условий неизбежно повлечет за собой неправильное распределение кристаллического вещества. В результате, если бугорки, о которых я говорил, ско-

пятся во многих местах, они станут заметными для глаза. В действительности их можно заметить, если рассматривать с помощью лупы поверхности многих вторичных кристаллов, в которых убывания происходят по углам. В случае убывания двух рядов молекул, снятых по углам каждого слоя, края присоединенных слоев окажутся выровненными по прямым *de*, *kh* и т. д. Если обратить внимание на глубину и на форму пустот, оставляемых в этом случае выпавшими молекулами, то там можно найти не только простые бугорки, образуемые угловыми линиями, как например *drcie*, но даже углубления, вытянутые в том же направлении, что и штрихи, о которых я говорил выше. В этом случае иногда замечаются маленькие поперечные борозды. Об этом я расскажу подробнее при объяснении структуры кристаллов, поверхности которых обнаруживают следы этих незначительных неправильностей.

14. Заметим, что в том случае, когда по углам слоев происходит только убывание простого ряда молекул, прирост одного слоя над другим измеряется у каждого угла половиной диагонали одной из граней этих молекул *At* (фиг. 7). Вместе с тем, в случае удаления двух рядов молекул, тот же прирост измеряется целой диагональю *Ac*. При убываниях, происходящих по краям слоев, очевидно, что прирост одного слоя над другим измеряется шириной *ac* одной из малых граней составных молекул или удвоенной шириной *ai* в зависимости от того, имеет ли место убывание одного или двух рядов молекул. Это наблюдение крайне важно для последующих рассуждений.

Сечения, которые мы производим на кристаллах, дают, следовательно, ошибочное представление об их истинной структуре, представляя нам части, отличающиеся, по всей видимости, друг от друга. Последняя из этих частей, которую мы можем отделить и рассмотреть, является еще сложным телом. По мере того как мы умножаем число сечений, треугольники, расположенные на краях пластин, становятся все меньше и меньше. В конце концов, они должны были бы совершенно исчезнуть, если бы наши инструменты обладали достаточной точностью и наши органы чувств были достаточно совершенны для того, чтобы позволить нам довести механическое деление кристалла до такого предела, когда уже не оставалось бы ни одной уловимой точки для дальнейшего деления.

Эта теория подтверждается естественными и простыми объяснениями некоторых своеобразных явлений, наблюдаемых при кристаллизации, а также соответствием между углами, вычисленными с учетом убывания слоев, и теми, которые обнаруживаются на самих кристаллах. Данное положение я предполагаю развить, применив его к кристаллам, о которых уже говорилось в этой главе.

15. Уровень соседних граней в пирамидах, расположенных вокруг кубического ядра додекаэдрического кристалла с ромбическими гранями (§ 8), является необходимым следствием самого простого закона убывания, иными словами, того закона, который предполагает удаление только

одного ряда составных молекул. Для доказательства этого предположим, что *abcd*, *bfgc* (фиг. 8) — две смежные грани ядра. Пусть *ots* — треугольник, сторона *ot* которого, лежащая на плоскости квадрата *bcgf*, равна величине, на которую поверхность ядра, представленная этим квадратом, возле каждого из краев превышает первый накладываемый слой. Пусть *st* — толщина этого слоя; третья сторона *os* будет неизбежно прилегать к одной из ромбических граней вторичного кристалла. При этом условии очевидно, что $ot=st$, поскольку каждая из этих линий равна боковой стороне одной из составных молекул при том допущении, что удаляется только один ряд молекул. Если взять теперь другой треугольник *ori*, расположенный, как и первый, по отношению к грани *abcd*, то будем иметь $ri=io=ot=ts$. Кроме того, *ri* параллельна *to*, а *io* также параллельна *ts*. Следовательно, если провести прямую *it*, то легко убедиться в том, что четыре вышеуказанные линии будут своими верхними концами упираться в одну и ту же прямую *ros*. Поскольку то же рассуждение применимо и ко всем другим дополнительным слоям, то линия *ros*, продолженная с двух сторон от точки *o*, пройдет по всем ребрам этих слоев и, следовательно, два треугольника, состоящие из суммы этих ребер, находятся в одной и той же плоскости.

Можно обнаружить большое число вторичных кристаллов, в которых грани, образуемые краями слоев, накладываемых на ядро, расположены по два на одной и той же грани, как например в додекаэдрическом кристалле, о котором шла речь. Такое расположение представляется сначала несколько необычным. Казалось бы, что смежные грани в соседних пирамидах должны иметь множество различных наклонов и что случай, когда они находятся на одном уровне, встречается крайне редко. Однако теперь мы убеждаемся в том, что этот случай, наоборот, встречается чрезвычайно часто, поскольку убывания, от которых он зависит, происходят в соответствии с самым простым и самым естественным из законов.

16. Любой треугольник, выполняющий ту же функцию, что и треугольник *ost* или *rio* (фиг. 8), будет именоваться в этом сочинении измерительным треугольником, так как он служит для измерения закона убываний дополнительных слоёв молекул. Я буду очень часто пользоваться такого рода треугольниками, для которых положение и соотношение сторон меняется в зависимости от обстоятельств.

17. Я уже говорил (§ 14), что величины углов, определяемые с помощью этой же теории, соответствуют тем, которые были установлены наблюдением. Возьмем для примера октаэдрическую морскую соль, структура которой была объяснена выше.

Пусть *abp* (фиг. 9) — одна из граней октаэдра, *ar* — высота четырехугольной пирамиды, к которой относится эта же самая грань. Если провести *ao* перпендикулярно к *bp*, то линия *or* сама будет перпендикуляром к *ar*, а так как точка *r* находится в середине квадратного основания пирамиды, то получим $or=bo$.

Предположим, что *nco* представляет в настоящем случае измерительный треугольник. В нем *cn* является боковой стороной одной из кубических молекул, составляющих первый накладываемый слой. Так как убывание происходит здесь по углам этих слоев, то *oc* будет равно полной диагонали одной из граней составных молекул (§ 14); при убывании двойного ряда молекул — половине той же диагонали, если убывает только один ряд. Достаточно одного взгляда, чтобы решить, что *cn* больше, чем *co*. Следовательно, нужно будет предположить, что *co* равно половине диагонали квадрата. Если это так, то положим, что $co=1$; тогда, если *cn* равно одной стороне квадрата, мы получим $cn=\sqrt{2}$. Ввиду наличия подобных треугольников *cno*, *rao*, можно принять также $or=1$ и $ar=\sqrt{2}$. Теперь $\overline{ao}^2=\overline{ar}^2+\overline{or}^2=3$. Кроме того, $bo=or=1$. Следовательно, $ab=\sqrt{\overline{ao}^2+\overline{bo}^2}=\sqrt{3+1}=2$. Впрочем, очевидно, что $bp=2bo=2$. Отсюда следует, что треугольник *bap* является не только равнобедренным, но и равносторонним. Иначе говоря, каждый из трех углов этого треугольника равен 60°. Наблюдение показывает те же данные. В результате можно сказать, что предполагаемый закон убывания есть именно тот закон, который имеет место при образовании кристалла.

18. Теория, которую я предлагаю, позволяет, таким образом, уточнить углы, выраженные в округленных числах и определенные крайне приблизительно путем простого наблюдения формы, например октаэдра с равносторонними гранями. Достигаемая при этом точность гарантирует результаты вычисления, которые выражают величины углов в градусах с минутами, секундами и другими более мелкими частями градуса. В этом сочинении придется неоднократно встречаться с такими детальными исчислениями. Дальнейшее изложение покажет, что эта же теория позволяет определить соотношение различных величин составных молекул, когда это соотношение и не указано непосредственно структурой кристаллов.

19. Несмотря на то, что до сих пор мне приходилось наблюдать только убывания, происходящие путем удаления одного, двух и реже трех рядов молекул, можно предположить, что существуют кристаллы, в которых при каждом убывании снимается четыре, пять и более рядов молекул. Мне кажется, что эти случаи встречаются тем реже, чем больше число удаленных рядов, так как образование кристалла при этом все больше отклоняется от самого простого, правильного и, как мы могли убедиться, самого обычного закона убывания [[21]].

Из вышеизложенного следует, что вторичный кристалл способен принимать тем больше различных форм, чем больше случаев убываний могут претерпевать его составные слои по своим краям или по своим углам. При этом стороны или вершины маленьких молекул, которые заканчивают эти слои, будут находиться на одном уровне. Таким образом, можно понять, насколько число вторичных форм будет ограниченным, несмотря на то, что

если произвольно дробить кристалл, не считаясь с его структурой, то можно будет найти для одного и того же рода вещества бесконечное число различных форм.

Глава III

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ К КРИСТАЛЛАМ ИЗВЕСТКОВОГО ШПАТА

20. Вещество углекислого кальция весьма широко распространено в недрах земного шара. В то же время вследствие своей мягкости оно очень легко подвергается действию воды, вымывающей из него молекулы. Поэтому следует удивляться тому, что подземные полости содержат громадное количество кристаллов этого рода. Здесь, как и в других областях Природы, разнообразие соперничает с изобилием. Редко можно встретить кристаллы, более приспособленные для геометрических вычислений. Правильная оболочка, скрывающая форму первичного кристалла, изменяется здесь самыми различными способами. Спайные плоскости частей, отвечающих постепенному нарастанию шпата, очень легко прощупываются. Сечения, которые можно произвести по этим плоскостям, выражены очень ясно и имеют живой и блестящий глянец, не оставляющий никакого сомнения относительно структуры кристалла, хотя бы и сложной. Поэтому большая часть фактов, послуживших основанием для предложенной мной теории, была получена в результате наблюдений над этим родом кристаллов. В них содержатся все данные, необходимые для исследований такого характера — изобилие вещества и легкость операций над ним.

Первичная (примитивная) форма

Ромбоидальный известковый шпат [22], известный под названием исландского шпата.*

Развертка. Шесть ромбов, равных и подобных друг другу, как например *abcd* (рис. II, фиг. 10). Большой угол ромба $bad = 101°32'23''$. Следовательно, малый угол $adc = 78°27'47''$.

21. Так как этот кристалл является первичной формой для данного рода, то он может быть разделен только сечениями, параллельными его граням (§ 5). В результате получаются маленькие ромбоиды, похожие друг на друга и на целый ромбоид.

Углы ромба я определил посредством вычисления по структуре известкового шпата в виде призмы с шестью боковыми гранями, заканчивающейся двумя шестиугольными гранями, как это будет объяснено ниже. Полученные величины отличаются только на $2'13''$ о тех, которые

* У Гаюи всюду приводятся также названия минералов, принятые Добантоном в его «Минералогических таблицах». Здесь и дальше эти названия опускаются — *ред.*

дал де ля Гир, ибо, согласно указанию этого ученого, большой угол исландского шпата равен 101°30′.

Ньютон в своем истолковании столь известного двойного преломления лучей, проходящих сквозь этот же самый шпат, определяет величину

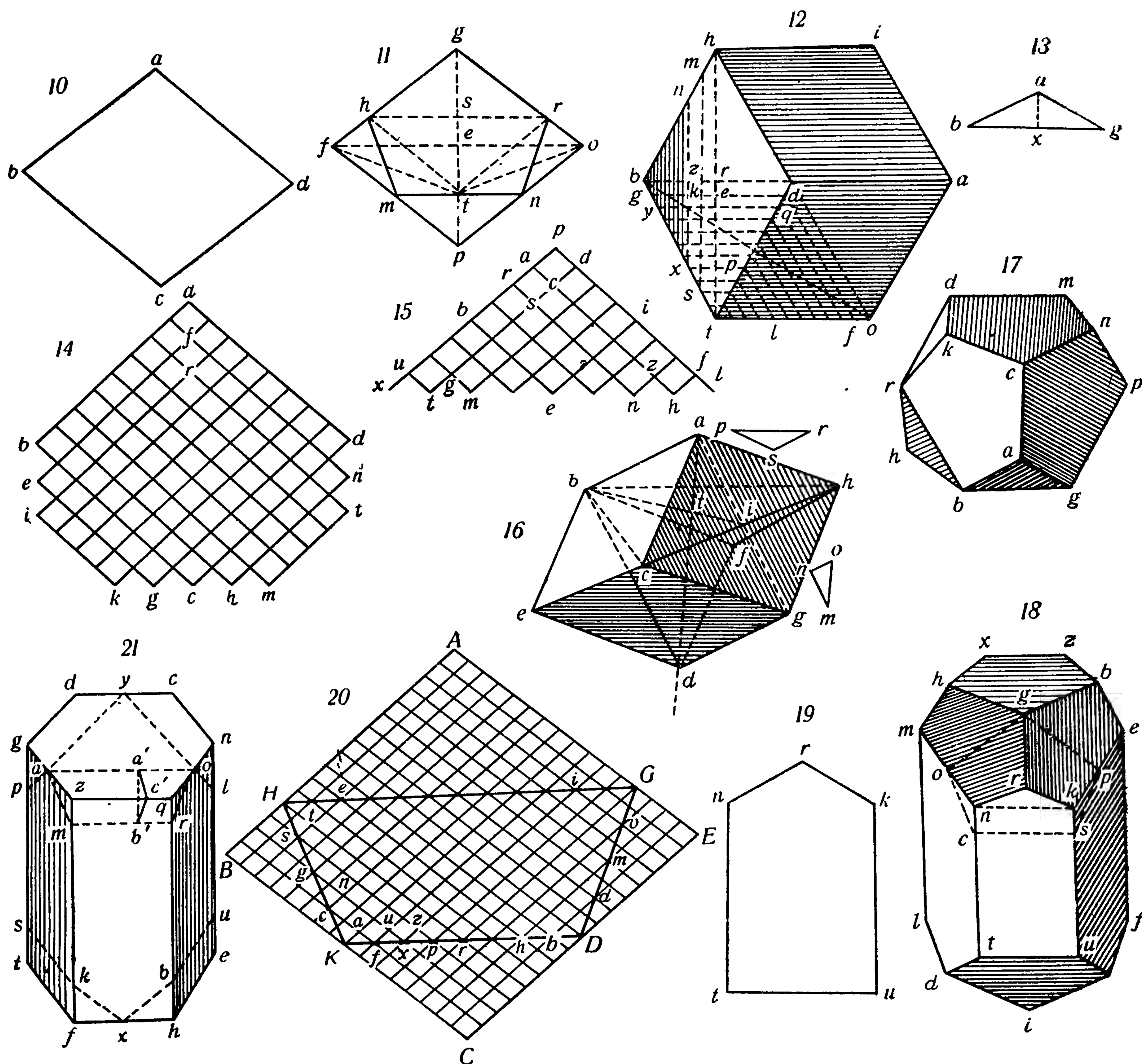


Рис. II.

большого угла в 101°52′. Эти расхождения, без сомнения, объясняются тем, что до сего времени указанные углы определялись только путем измерений на самом кристалле или же путем измерений двух диагоналей ромба с целью вычисления из их соотношений угловых величин.

Вторичная форма

Известковый шпат, ромбоидальный с крайне тупыми вершинами [23].

Развертка. Шесть ромбов, равных и подобных друг другу, как например *gfpo* (фиг. 11). Большой угол ромба *fgo*=114°18′56″, малый угол *gop*=65°44′4″.

22. То же самое вещество, которое принимает ромбоидальную форму исландского шпата, в случае наиболее совершенной кристаллизации обнаруживает среди многих разновидностей два других ромбоида: один с вершинами очень тупыми, о котором и идет речь в данном разделе, и другой с острыми вершинами, который будет описан ниже.

Допустим, что три ромбические грани *hcai*, *hctb*, *caot* (фиг. 12) представляют три верхние грани кристалла, имеющего следующую форму. Если попытаться разделить этот кристалл с помощью режущего инструмента, расположенного косо по отношению к одному из ребер, как например *ct*, и направленного так, что он проходит через линии *px*, *pl*, параллельные диагоналям *cb*, *co*, то сначала отделится косая пирамида с тремя гранями, основание которой *xpl* сделает сечение в теле кристалла. Если продолжать деление, все время следуя параллельным направлениям, то отделятся треугольные слои, которые будут нарастать равномерно и большие поверхности которых будут подобны треугольнику *xpl*. Легко увидеть, что пирамида, отделившаяся при первом сечении, представляет собой только соединение треугольных слоев, подобных тем, о которых я только что говорил. Эти слои можно снять один за другим, если проводить деления по направлению от основания *xpl* этой пирамиды к ее вершине. Верхний угол *p* всех этих слоев равен большому углу *bad* (фиг. 10) исландского шпата. Если производить подобные сечения на шести ребрах кристалла до тех пор, пока они не достигнут середины боковых сторон *hb*, *bt*, *to* (фиг. 12), треугольные грани, образовавшиеся при снятии телесных углов, коснутся друг друга своими боковыми углами. Если продолжить деление за эти пределы на всех шести ребрах, то треугольники, такие как *xpl* (фиг. 15), находя один на другой своими углами *xl*, преобразуются в пятиугольники *puthf*, основание которых *th* будет убывать, а боковые стороны *ut*, *fh* нарастать. Таким образом, пятиугольник постепенно примет фигуру ромба *pbei* и тогда раскроется ромбоидальное ядро.

Если ударить по треугольным или пятиугольным пластинам, которые были отделены при каждом сечении, то эти пластины распадутся на маленькие ромбоиды, подобные ядру. Если продолжить деление до того предела, когда ромбы *pacd*, *arsc* и т. д. будут представлять поверхности составных молекул (§ 13), то обнаружится, что маленькие треугольные пространства *tgm*, *nzh* и т. д., расположенные на основании пластин, остались пустыми вследствие удаления молекул, которые должны были бы дополнить эти

слои в случае более совершенной кристаллизации. Эта структура отличается штрихами или бороздками, имеющими то же направление, что и линии *bc*, *oc*, *gd*, *fd* и т. д. (фиг. 12). Из дальнейшего изложения выяснится происхождение этих штрихов.

Рассмотрим теперь более подробно различные состояния, через которые последовательно проходят накладываемые слои. Прежде всего легко обнаружить по структуре кристалла, что поверхности, состоящие из суммы верхних краев *bc*, *oc*, *gd*, *fd* и т. д. этих самых пластин, расположены попарно в одной и той же плоскости. Прибегнув здесь к рассуждению, применявшемуся нами для ромбического додекаэдра, молекулы которого имеют форму куба (§ 15), можно сделать вывод, что накладываемые слои вышеуказанного шпата убывают по верхним краям путем снятия простого ряда ромбоидов. Это именно те убывания, которые вызывают штрихи, упомянутые мной выше.

Стороны *ut*, *fh* и другие пятиугольников (фиг. 15), наоборот, нарастают, начиная с ядра, поскольку сам кристалл продолжает расти в частях, соответствующих этим сторонам. Итак, легко понять, что эти нарастания совершаются таким же образом, как и в простом ромбоиде исландского шпата, который может, по-видимому, увеличиваться в объеме, не меняя своей формы. Следовательно, в этом отношении не может встретиться никаких затруднений.

Что же касается нижних оснований как пятиугольников, так и треугольников, то они остаются постоянно в одной и той же плоскости, не убывая. Таким образом, если считать, что одна из поверхностей ядра представлена ромбом *abcd* (фиг. 14), верхняя поверхность первого накладного слоя будет расположена, как пятиугольник *feghn*, верхняя поверхность второго слоя будет соответствовать пятиугольнику *rikmt* и т. д. Для доказательства того, что накладываемые слои постоянны в своих основаниях, я прежде всего допускаю, что кристалл может быть разделен на равные части в направлении маленьких диагоналей *cb*, *co*, *dg* и т. д. (фиг. 12), а также в направлении линий *ht*, *ms* и т. д., пересекающих первые под прямым углом. Вторые сечения представляют собой только продолжение тех, которые можно произвести в нижней части кристалла, параллельно маленьким диагоналям трех граней, которые принадлежат этой же части. Пусть *hmst* — нижний край или основание одной из треугольных пластин, которую можно было бы отделить посредством сечения, произведенного во втором направлении. При этом *rz* или *ek* — наружное ребро одного из маленьких ромбоидов, занимающих вышеупомянутый край. Соответственно структуре кристалла, ребро *cb* совмещается с одной из сторон ядра. Следовательно, это ребро является прямой непрерывной линией. Отсюда следует, что и все другие ребра *dg*, *qy* и т. д. будут также непрерывными прямыми линиями. К тому же все эти линии, очевидно, находятся в одной и той же плоскости. Следовательно, все края *hmst*, *mnxs* и т. д., поскольку они являются не чем иным, как суммой маленьких линий *rz*, *ek* и т. д.,

составляющих части линий *cb*, *dg* и др., будут также находиться все в одной плоскости и ни одна из них не будет заходить за другую. Применив это рассуждение ко всем другим дополнительным пластинам как треугольным, так и пятиугольным, мы сможем заключить, как только что было отмечено, что нижние края этих пластин все находятся на одном уровне. Рассматриваемая здесь структура шпата наиболее пригодна для доказательства предложенной мной теории. Штрихи, покрывающие грани ромбоида, будучи весьма четкими и заметными для множества кристаллов этой разновидности, ясно свидетельствуют об уменьшении слоев посредством убывания, совершающегося, по моему предположению, на соответствующих краях этих слоев. Вместе с тем легко обнаружить, что эти штрихи не могут существовать без того, чтобы нижние края или основания пластин, которые отделяются посредством сечений *ht*, *ms*, перпендикулярных линиям *cb*, *dg* и т. д., не были бы сами зубчатыми, поскольку эти края неизбежно будут прерывать маленькие участки штрихов. Итак, зубчатые края этого рода расположены как раз так, чтобы оставить пустыми маленькие треугольные пространства, расположенные у основания пластин, составляющих кристалл. Отсюда следует, что наличие убывания маленьких ромбоидов на краях пластин, на которое указывают штрихи, гарантирует в некотором роде наличие их убывания по углам.

Что же касается плоских углов этого кристалла, то я приведу расчет этих углов, также как расчет углов кристаллов, о которых речь пойдет дальше, в том параграфе, где я буду рассматривать кристалл, позволивший мне вычислить углы исландского шпата. В дальнейшем эти углы будут служить для определения углов других известковых кристаллов.

Известковый шпат с очень тупыми вершинами (а) и с треугольными гранями [24] (фиг. 17).[19]

Развертка. Шесть пятиугольников, равных и подобных друг другу, как например *ghmnr* (фиг. 11), и шесть равнобедренных треугольников *abg* (фиг. 13). Углы пятиугольника: $hgr=114°18'56''$, $ghm=grn=95°32'6''$, $hmn=rnm=117°18'26''$. Углы треугольника: $bag=133°12'30''$, $abg=agb=23°23'45''$.

23. Этот кристалл представляет собой не что иное, как разновидность предыдущего, но с неполным развитием. Вместо шести выступающих углов контура наблюдается шесть дополнительных граней треугольной формы, расположенных вертикально, если предположить, что ось кристалла находится в вертикальном положении. Мы уже видели (§ 22), что при делении ромбоидального шпата с очень тупыми вершинами получались треугольные пластины до тех пор, пока плоскости сечения не становятся смежными по отношению друг к другу. Допустим, что такие пластины вместо того, чтобы быть постоянными в своих основаниях, как в выше-

---

[19] Это разновидность, которая в обиходе называется известковым шпатом с гвоздеобразной головкой.

упомянутом шпате, будут равномерно убывать по направлению к основаниям. Пусть они убывают таким образом, что треугольные грани *abg* (фиг. 17), образующиеся при таком убывании, окажутся расположенными вертикально. В этом случае шесть больших поверхностей кристалла станут пятиугольниками *cabrk*, *cagpn* и т. д. В результате мы будем иметь твердое тело, подобное тому, о котором здесь идет речь.

24. Попытаемся теперь найти закон убывания, имеющий место в данном случае. Пусть *abedgh* (фиг. 16) — ромбоидальное ядро кристалла. Четырехугольник *abdg* образован маленькими диагоналями *ag*, *bd* двух противоположных граней *acgh*, *bfde* этого же самого ядра и сторонами *ab*, *dg*, заключенными между этими диагоналями. Допустим, наконец, что *nom* — измерительный угол (§ 16), в котором *no* равняется стороне одного из маленьких составных ромбоидов, *nm* показывает, во сколько раз любая из треугольных пластин превышает другую по своему основанию.

Итак, линия *nm* находится в направлении маленькой диагонали одного из составных ромбов. Следовательно, поскольку маленькие ромбоиды, из которых состоит кристалл, расположены по отношению к ядру так, что все соответствующие направления относительно параллельны как с одной, так и с другой стороны, то мы будем иметь *nm* — параллельное *ag* и *no* — параллельное *dg*. Вследствие вертикального положения треугольных граней *mo* будет также параллельно оси *ad* кристалла. Следовательно, треугольник *nom* подобен треугольнику *gda* и поэтому *dg* : *ad* : : *no* : *nm*. Отсюда можно заключить, что *nm* есть маленькая полная диагональ одного из ромбов, которые образуют грани маленьких составных ромбоидов. Иными словами, убывание (§ 14) треугольных слоев, накладываемых на ядро, происходит путем удаления двух рядов составных молекул.

Известковый шпат с двенадцатью пятиугольными гранями [25] (фиг. 18).

Р а з в е р т к а. Шесть пятиугольников *ghmnr* (фиг. 11) расположены по три на каждой вершине кристалла. Шесть других пятиугольников *rntuk* (фиг. 19), верхние углы которых направлены попеременно в противоположные стороны, образуют боковые грани кристалла. Углы пятиугольника *ghmnr*: $hgr = 114°18'56''$, $ghm = grn = 95°32'6''$, $hmn = rnm = 117°18'26''$. Углы пятиугольника *rntuk*: $nrk = 133°12'30''$, $rnt = rku = 113°23'45''$, $ntu = kut = 90°$.

25. Подобный кристалл делится сначала так же, как и шпат с тупыми вершинами и треугольными гранями (§ 23), посредством косых сечений по ребрам пирамид на треугольные пластины, большой угол которых равен 101°32'13''. Это продолжается до тех пор, пока пластины не достигнут точек *m*, *n*, *k*, *e*, *z*, *x* (фиг. 18), являющихся краевыми пределами оснований пятиугольников, образующих вершины кристалла. Дальше треугольные пластины преобразуются в пятиугольники. Наконец, когда секущие плоскости придут в соприкосновение, что происходит при совпадении

сечения с высотами *go*, *gp* и др. пятиугольников, завершающих кристалл, последний примет уже другую кристаллическую форму. Эта форма будет иметь также двенадцать пятиугольных граней, но грани обеих вершин будут расположены в направлении, противоположном по отношению к граням первого исходного кристалла. Очертания одной из этих граней представлены пятиугольником *gocsp*. Если продолжить деление посредством параллельных сечений по этим же самым граням, то прямоугольник *nkut* станет уменьшаться по высоте. В точке, где они окончательно исчезнут, возникает кристаллическая форма, подобная ромбоиду исландского шпата, но с урезанным по шести телесным углам контуром. Вместо этих углов образуется такое же число треугольных равнобедренных граней. Наконец, путем последующих сечений мы достигнем полного исчезновения этих граней и постепенно получим весь кристалл, имеющий форму исландского шпата, иными словами, ядро первого двенадцатигранного кристалла.

26. Для того чтобы начертить одну из конечных граней *gocsp* (фиг. 18) или *AHKDG* (фиг. 20) кристалла с двенадцатью пятиугольными гранями, который включен в первый, возьмем *ABCE* — ромб, подобный ромбу исландского шпата. Через точки *K*, *D* в середине сторон *BC*, *CE* проведем прямую *KD*. Из середины *r* этой прямой проведем *rH*, *rG*, параллельные сторонам *AE*, *AB*. Наконец, из точек пересечения *H*, *G* опустим прямые *HK*, *GD* на концы линии *KD*. Фигура *AHKDG* даст искомый пятиугольник.

Структура пластин, большие грани которых подобны этому пятиугольнику, показана делениями на этой фигуре. Легко увидеть, что, согласно вышеуказанному (§ 24), нижние края таких пластин, на которых, как следует допустить, маленькие треугольные пространства *Kaf*, *fux*, *xzp* и т. д. оказываются пустыми, убывают, начиная с ядра, посредством удаления двух рядов ромбоидов. Что же касается краев *HK*, *GD*, то они являются частью вертикальных поверхностей. Последние образуются, как я это уже доказал (§ 24), в силу закона убывания посредством удаления двойного ряда молекул; следовательно, эти края состоят только из ребер, заканчивающихся точками *K*, *c*, *g*, *s* и т. д. Таким образом, каждый из треугольников *Kac*, *cng*, остающихся пустыми с этой стороны, всегда соответствует двум составным молекулам.

Наконец, если продолжать деление на неполном ромбоиде исландского шпата, о котором говорилось выше, то пятиугольник *AHKDG* постепенно примет снова форму ромба *AHrG*, представляющего одну из граней ядра, проходя через семиугольные формы *AHcfbdG*, *AHgxhmG* и т. д.

27. Здесь следует сделать одно важное замечание. Можно ошибиться в вычислении убывания составных молекул, происходящего у оснований *DK* дополнительных пятиугольников, если обращать внимание только на расстояния от этих оснований по отношению к оси кристалла. Поскольку это расстояние всегда одинаково, можно было бы заключить, что и пластины у этих оснований постоянны.

Убывания, на мой взгляд, состоят в том, что над краем каждой пластины выступает на некоторую величину край той пластины, которая расположена непосредственно под ней. Действительно, если бы края пластин были бы на одном уровне, то все эти края находились бы в той же плоскости, что и любой из них, очевидно, в наклонной плоскости. Тогда их сумма составляла бы также наклонные грани. Между тем те грани, о которых идет речь, — вертикальны (при вертикальном расположении оси кристалла).

Отсюда следует, что в случае, когда края стопки пластин расположены отступя по отношению к граням ядра, то можно предположить, что эти пластины убывают к краям, о которых идет речь. Это происходит несмотря на то, что если принимать во внимание их абсолютные размеры, они должны показаться постоянными, когда нарастание с одной стороны происходит пропорционально убыванию с другой. Вышеизложенная структура шпата с двенадцатью пятиугольными плоскостями крайне отлична от той, которую приписывал ему г-н Бергман.[20] Этот знаменитый химик сравнивает вышеуказанный кристалл с додекаэдрическим гранатом, вершины которого имеют, якобы, ромбоидальные грани, усеченные по трем внешним углам. Поэтому он приписывает двум вышеназванным кристаллам одно и то же образование. Согласно его мнению, и тот и другой кристалл происходят от скопления множества равных и подобных пятиугольников на двух пирамидальных вершинах ромбоидального твердого тела, которое будет также иметь грани, усеченные по трем внешним углам. Это приводит к превращению данных граней в пятиугольники, которые автор называет «основными плоскостями».

Такое объяснение предполагает прежде всего то, что первоначальная форма граната и форма известковых шпатов — совершенно идентичны. Г-н Бергман сам предупреждает в начале своего сочинения, что он задался целью свести несколько кристаллов, в числе которых имеется и гранат, к форме исландского шпата, или параллелепипеда, тупой угол которого равен 101°30′ для каждой из его граней. Однако большой плоский угол граната равен, как я собираюсь доказать, 109°28′, чем обусловливается очень заметное различие между первоначальными формами этих двух родов кристаллов. Такое объяснение предполагает также, что угол у вершины каждого из пятиугольников, завершающих данный кристалл, равен большому углу исландского шпата, хотя между этими двумя углами существует разница около 13°. Впрочем, согласно Бергману, «основные грани» могут быть усеченными, что противоречит наблюдению. Наконец, из объяснения этого ученого следует, что шпат с двенадцатью пятиугольными гранями может быть разделен четкими сечениями в направлениях, параллельных сторонам его двух пирамидальных вершин. Но, как свидетельствуют полученные мною и описанные выше опытные данные, это не так.

---

[20] Opusc. Physica *a* Chemica. Upsal, 1780, vol. II, стр. 6.

Известковый шпат в виде шестигранной призмы, заканчивающейся двумя правильными шестиугольниками [26] (фиг. 21). Само определение этого кристалла показывает характер его развития.

28. Из всех кристаллов кальцита шпат, о котором идет речь, наиболее отклоняется по своей внешней форме от ромбоидального ядра. Он обладает еще той отличительной особенностью, что с первого взгляда на нем невозможно различить стороны кристалла, по которым можно было бы его разделить. Для осуществления такого деления следует, наклонив режущую плоскость под углом в 45° к одной из сторон шестиугольного основания призмы, сделать пробу относительно двух смежных сторон шестиугольника, направив сечения параллельно этим сторонам. В результате обнаружится, что только на одной из двух сторон можно отделить пластины с чистыми, как бы полированными поверхностями. Предположим, что это будет сторона *gd*. Тогда мы будем оперировать на сторонах *gd*, *cn*, *qz*, пропуская промежуточные стороны *dc*, *nq*, *zg*. Для того чтобы разделить кристалл в его нижней части, следует взять стороны *tf*, *he* и т. д., которые расположены в чередующемся порядке относительно сторон верхнего шестиугольника. Это чередование делений объясняется положением ядра, поверхности которого соответствуют с одной и с другой стороны трем различным сторонам шестиугольников, образующих основание призмы.

При этих условиях отделяющиеся пластины сначала будут иметь форму трапеции, как например *amro*. Высота таких трапеций будет все время нарастать, если только предположить, что сама призма имеет достаточную высоту для того, чтобы верхние сечения не смешивались с нижними. Иными словами, точки *m*, *r*, *b*, *k* должны оставаться всегда различными до тех пор, пока режущие плоскости не пройдут через ось призмы. Достаточно одного взгляда на трапецию *HGDK* (рис. 20), чтобы представить строение всех тех сечений, о которых здесь идет речь. При этом следует принять во внимание, что треугольные пространства на четырех сторонах трапеции будут пустыми. Вслед за точками *a*, *o*, *y* (фиг. 21), где соседние сечения соприкасаются, трапеции, заходящие одна на другую своими верхними углами, становятся шестиугольниками, как например *esKDvi* (фиг. 20). Эти шестиугольники будут постепенно приближаться к фигуре пятиугольника, подобного *AHKDG*, вершина которого лежит на линии *HG*. В этой точке мы имеем твердое тело с двенадцатью пятиугольными плоскостями, совершенно подобное телу, полученному из известкового шпата, описанного в предыдущем разделе (§ 25), которое нужно было разделить тем же способом для того, чтобы вновь найти ядро кристалла.

Легко представить себе, что трапеции и другие фигуры, из которых состоит этот кристалл, убывают в своих нижних частях посредством удаления двух рядов составных молекул (§ 24), поскольку грани, составленные из суммы их оснований, находятся в вертикальном положении. Речь идет только о том, чтобы определить закон убывания по направлению

к верхнему углу *A* (фиг. 20) пятиугольников, при переходе последних в фигуру трапеции. При этом слои удаляются в порядке, противоположном порядку указанных делений, направленных от ядра.

29. Пусть по-прежнему *abdg* (фиг. 16) — геометрический разрез ядра, подобный вышеуказанному (§ 24). Допустим, что *psr* — измерительный треугольник, где сторона *ps* равна линии, показывающей величину убывания, а сторона *sr* равна стороне или ребру одной из составных молекул. При этом сторона *pr* расположена параллельно прямой *bi*, которая, как я предполагаю, проведена от телесного угла *b* перпендикулярно к оси *ad* ядра. Вследствие параллельности *ps*, *ai*, с одной стороны, и *sr*, *ba* — с другой, треугольники *spr*, *bai* будут подобными. Следовательно, *ba* : *ai* : : *sr* : *ps*. Итак, *ba* — сторона ядра; *ai* — половина маленькой диагонали одной из граней того же самого ядра; *sr* — сторона одной из составных молекул. Отсюда следует, что *ps* равна половине маленькой диагонали одной из граней тех же самых молекул. Иными словами, убывание происходит (§ 14) в верхней части кристалла посредством удалений простого ряда маленьких ромбоидов. Призматический кристалл, о котором идет речь, способен принимать самые разнообразные формы. Иногда призма имеет крайне малую высоту; нередко шестиугольники, которые ее заканчивают, имеют три большие стороны и три малые. Встречаются даже такие призмы с треугольной формой. Однако, если следовать вышеизложенным принципам, то всегда будет легко свести все эти разновидности к одной общей форме — найти положение ядра и определить закон убывания для накладывающихся слоев.

30. Наблюдение над этим же кристаллом позволило мне получить данные для вычисления плоских углов ядра. После того, как будет отделен сегмент призмы посредством косого сечения, сделанного, например, в направлении плоскости *amro* (фиг. 21), перевернем этот сегмент так, чтобы грань осталась лежать на той части, от которой ее отделили, а линия *mr* совместилась с линией *ao*. При этом четырехугольник *zmrq* окажется на одном уровне с плоскостью шестиугольника *dgaonc* без того, чтобы можно было заметить самый незначительный наклон между этими двумя гранями. Согласно этому наблюдению вполне вероятно, что угол, который получится от взаимного наклона двух граней *zmrq*, *amro*, будет точно равен тому, который образует вторая из этих граней с *azqo*. Отсюда можно сделать вывод, что треугольник *a'c'b'*, образуемый наклонами трех плоскостей, будет не только прямоугольным, но и равнобедренным. Итак, приняв во внимание, что плоскость *amro* параллельна соответствующей грани ядра, предположим, что телесная фигура (фиг. 16) расположена как ядро. Тогда легко увидеть, что треугольник *a'c'b'* (фиг. 21) подобен треугольнику *ati* (фиг. 16), состоящему из половины *ai* — маленькой диагонали ромба *acgh*, линии *it*, проведенной перпендикулярно к оси, и ча́сти *at* той же самой оси. Следовательно, треугольник *ati* также будет прямоугольным и равнобедренным.

Пусть $at = it = 1$, тогда $ai = \sqrt{2}$. Так как ti лежит в плоскости равностороннего треугольника chb, образованного тремя большими диагоналями верхних граней ромбоида, то $ih = \sqrt{3}$ и, следовательно, $ah = \sqrt{(ai)^2 + (ih)^2} = \sqrt{5}$. Решив прямоугольный треугольник aih с помощью этих данных, найдем для логарифма синуса угла iah число 98 890 756, которое соответствует углу 50°46′6″30‴. Итак, $cah = 101°32'13''$. Следовательно, маленький угол ahc равен 78°27′47″.[21]

31. Теперь можно легко вычислить плоские углы других вышеописанных кристаллов. Возьмем сначала ромбоидальный шпат с крайне тупыми вершинами (§ 22). Структура такого кристалла показывает, что маленькие диагонали cb, co (фиг. 12) двух соседних граней совпадают с двумя сторонами одной и той же грани ядра. Следовательно, угол bco равен большому углу ромбов исландского шпата. В результате можно представить cb посредством $\sqrt{5}$ и bo через $2\sqrt{3} = \sqrt{12}$. Так как $hr = \frac{1}{2}ht = \frac{1}{2}bo$ и $cr = \frac{1}{2}cb$, то можно приравнять также $hr = \sqrt{12}$ и $cr = \sqrt{5}$. Решив треугольник hrc с помощью этих данных, получим величину логарифма тангенса угла hcr, равную 101 901 056, которая соответствует углу 57°9′28″. Отсюда угол $hct = 114°18'56''$, угол $chb = 65°41'4''$.

32. Перейдем далее к определению углов пятиугольника $ghmnr$ (фиг. 11), который образует большие грани шпата с треугольными гранями (§ 23). Начертив этот пятиугольник так, как это было указано выше (§ 27) для пятиугольника $AHKDG$ (фиг. 20), мы получим по-прежнему $ge = \sqrt{5}$ и $fe = \sqrt{12}$.

Рассмотрим треугольник mth. Конструкция фигуры дает нам $mt = \frac{1}{2}fe = \frac{1}{2}\sqrt{12}$. Кроме того, $ht = gr = \sqrt{\overline{sr}^2 + \overline{gs}^2}$. Итак, $sr = \frac{3}{4}eo = \frac{3}{4}fe = \frac{3}{4}\sqrt{12} = \frac{1}{4}\sqrt{108}$. К тому же $gs = \frac{3}{4}ge = \frac{3}{4}\sqrt{5} = \frac{1}{4}\sqrt{45}$. Следовательно, $ht = \frac{1}{4}\sqrt{108 + 45} = \frac{1}{4}\sqrt{153}$. Если извлечь корни с точностью до 1/1000, получим $mt = 1.732$, $ht = 3.092$. Кроме того, угол $htm = \frac{gop}{2} = 32°50'32''$. Треугольник hmt, решенный соответственно этим данным, даст величину логарифма тангенса половинной разницы углов h и m, равную 99 807 272, что соответствует углу 43°43′42″. Отсюда можно заключить, что угол hmt или равный ему угол $tnr = 117°18'26''$, а угол $thm = 29°51'2''$. Прибавив этот последний угол к углу $ght = 65°41'4''$, получим угол ghm или равный ему grn в 95°32′6″. Что же

[21] Эти углы могут быть определены вторым способом (§ 35), который дает точно такие же результаты.

касается угла *hgr*, то мы уже определили его величину (§ 31) как равную 114°18′56″.

В отношении треугольников *abg* (фиг. 13), образующих боковые грани кристалла, с самого начала ясно, что $ab=hm$ (фиг. 11). Опустив линию *ax* перпендикулярно на *bg*, получим $bx=mt$. Итак, величины этих отрезков легко выводятся из вычисления углов пятиугольника. Эти величины дадут угол *bax*, который будет определен 66°36′15″. Следовательно, *bag*= =133°12′30″; *abg* или равный ему *agb* имеет 23°23′49″. Я не касаюсь углов шпата с двенадцатью пятиугольными плоскостями, так как вышеуказанные способы вычисления позволят легко найти их величины.

Известковый шпат с двенадцатью треугольными неравносторонними гранями, известный под названием «свиной зуб» [27] (рис. III, фиг. 22).

Развертка. Двенадцать неравносторонних треугольников (фиг. 23), равных и подобных друг другу. Углы *ehg*=101°32′13″; *egh*=52°27′30″; *geh*=24°0′17″.

33. Г-н Бергман в сочинении, о котором я уже упоминал, дал крайне точное описание расположения слоев, составляющих этот кристалл, и подтвердил это наблюдением над изломами, сделанными в теле двенадцатигранного кристалла. Этот ученый рассматривает данный шпат как результат скопления ряда ромбических убывающих плоскостей, которые возвышаются над поверхностями ядра, соприкасаясь всегда с осью своим верхним углом. В этом случае сумма внешних краев всех налегающих плоскостей образует треугольные грани двух шестиугольных пирамид, основания которых соединены изломанной линией *acgh* и т. д., состоящей из шести выступающих ребер ядра.

Такое объяснение указывает, каким способом следует разделить кристалл для того, чтобы отделить все слои, из которых он состоит, и раскрыть ядро. Легко понять, что каждый из этих слоев может быть подразделен посредством параллельных сечений по граням ядра на маленькие ромбоиды, подобные ядру. К этому я также пришел путем наблюдения.

34. Согласно мнению г-на Бергмана, оси пирамид будут тем длиннее, чем медленнее будет происходить убывание слоев, и наоборот. Однако все кристаллы этой разновидности, которые мне приходилось наблюдать, имели одинаковые плоские углы при условии, что их форма была четко обозначенной. Отсюда следует, что оси пирамид имели высоту, пропорциональную объему различных двенадцатигранников. Этот факт связан с законом убывания, претерпеваемым слоями кристалла. Необходимо предположить, что убывание происходило здесь путем удаления двойного ряда составных молекул. Это необходимо для того, чтобы углы, вычисленные в соответствии с этим законом убывания, были бы равны углам кристалла.

35. Пусть *acgh* (фиг. 24) — одна из граней ядра, *geh* — одна из граней двенадцатигранника, а четырехугольник *abdg* — тот же, который

представлен на фиг. 16. Проведем *am*, продолжение *ba*, до пересечения с *eg*; проведем также *hp* и *gz* перпендикулярно к оси *ed*.

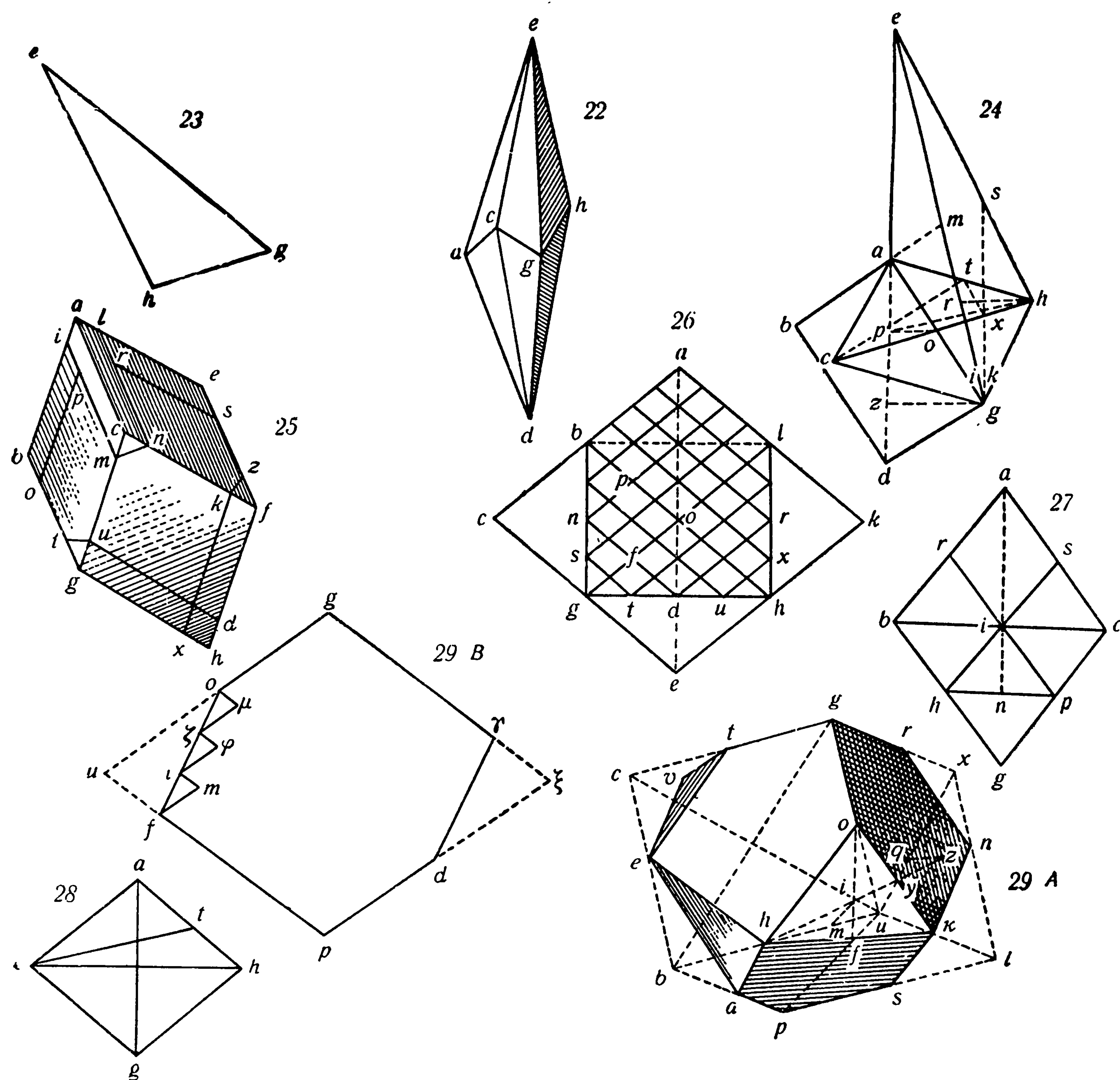


Рис. III.

Способ, который я собираюсь применить для определения углов вышеуказанного кристалла, послужит также для доказательства двух довольно своеобразных геометрических свойств телесной фигуры, представленной этим кристаллом по сравнению с его ядром. Одна из этих

особенностей заключается в том, что часть *ae* оси, выходящей за пределы ядра, равна самой оси *ad* этого ядра.

Другая особенность сводится к следующему. Поскольку *acgh* является, как я уже указал, одной из граней ядра, то, если из угла *c* провести *ct*, разрезающую сторону *ah* на две равные половины, то треугольник *act* будет подобен каждой из граней вторичного кристалла с той разницей, что последние будут иметь стороны, вдвое превышающие соответствующие стороны того же треугольника.

Рассмотрим сначала измерительный треугольник *kig*. Накладываемые слои убывают здесь по краям. Поэтому, если предположить, что в каждом слое снимается два ряда молекул (я уже доказал выше, что это является неизбежным), то мы получим отрезок *ig*, вдвое превышающий маленькую диагональ одной из граней этих молекул, и отрезок *ik*, равный стороне тех же самых молекул. Итак, вследствие того, что треугольники *mag* и *kig* подобны, имеем $gi : ik : : ga : am$. Отсюда, а также из того, что *ga* — маленькая диагональ одной из граней ядра, легко заключить, что *am* равна половине стороны одной из тех же граней. Следовательно, $am = \frac{1}{2}\, dg$. Из подобия треугольников *eam* и *edg* следует $dg : am : : ed : ea$. Следовательно, $ed = 2ea$ и $ad = ac$; это и является тем первым свойством, которое надо было доказать.

Определим теперь абсолютную величину оси *ad*. Так как угол *gaz* равен 45° (§ 30), то прямоугольный треугольник *agz* является равнобедренным. Следовательно:

$$az = \sqrt{\overline{ag}^2 - \overline{gz}^2} = \sqrt{8-4} \ (\S\ 30) \text{ или } az = 2.$$

Кроме того, $dz = \sqrt{\overline{dg}^2 - \overline{gz}^2} = \sqrt{5-4} = 1$. Следовательно, *ad* или $ae = az + dz = 3$; отсюда следует, что $ez = 5$. Соответственно этим величинам имеем

$$eg = \sqrt{\overline{ez}^2 + \overline{gz}^2} = \sqrt{25+4} = \sqrt{29}.$$

Остается только найти *eh*. Итак,

$$eh = \sqrt{\overline{pe}^2 + \overline{ph}^2} = \sqrt{(ea+pa)^2 + \overline{gz}^2} = \sqrt{(ea+dz)^2 + \overline{gz}^2} = \sqrt{(3+1)^2 + 4} = \sqrt{20}.$$

Следовательно, в треугольнике *efh* имеем $eg = \sqrt{29}$, $eh\ \sqrt{20}$, $gh = \sqrt{5}$ (§ 30). Нужно доказать теперь, что величины вдвое превышают величины сторон треугольника *act*. Из точки *t* опустим перпендикуляр *tx* на *ch*; в результате получаем

$$cx = \frac{3}{4}\, ch = \frac{3}{4}\sqrt{12} \ (\S\ 30), \quad tx = \frac{1}{2}\, ao = \frac{1}{2}\sqrt{2}.$$

Следовательно, $ct = \sqrt{\overline{cx}^2 + \overline{tx}^2} = \sqrt{\frac{108}{16} + \frac{1}{2}} = \sqrt{29}$, при этом $ca = \sqrt{5} = \frac{1}{2}\sqrt{20}$; $at = \frac{1}{2}ca = \frac{1}{2}\sqrt{5}$. Следовательно, второе свойство также является доказанным. Из этого следует, что угол ehg — наибольший из трех плоских углов любой грани вторичного кристалла, абсолютно равен большому углу cah ромбов исландского шпата. Что же касается двух других углов, то их легко определить из полученных выше данных. Для логарифма синуса угла egh получаем число 99 104 616, которому соответствует угол в 54°27′30″; отсюда следует, что третий угол $geh = 24°0'17''$.

Если попытаться решить задачу в обратном порядке, т. е. если принять за исходные данные равенство углов ehg, cah, устанавливаемое наблюдением, с одной стороны, над вторичным кристаллом, а с другой — над исландским шпатом, то обнаружится, что эти два угла не могут иметь другой величины, кроме 101°32′13″. Для доказательства этого положения, имея те же линии, проведем op, hr перпендикулярно: одну к ez, другую к eg. Положим $ez = x$, $gz = ph = a$. Так как убывания налагаемых слоев будут происходить по-прежнему в соответствии с вышеуказанным законом, то мы получим, как я это доказал, $ba = ad$ и $az = \frac{2}{5}ez = \frac{2}{5}x$. Найдем сначала алгебраическое выражение для площади равнобедренного треугольника cah. Эта площадь будет

$$ao \times oh = \sqrt{\overline{op}^2 + \overline{ap}^2} \times \sqrt{\overline{ph}^2 - \overline{op}^2}.$$

Но $op = \frac{1}{2}gz = \frac{1}{2}a$, $ap = \frac{1}{2}az = \frac{1}{5}x$.

Подставим

$$ao \times oh = \sqrt{\frac{1}{4}a^2 + \frac{1}{25}x^2} \times \sqrt{a^2 - \frac{1}{4}a^2} = \sqrt{\frac{3}{16}a^4 + \frac{3}{100}a^2x^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{25}{25} \cdot \frac{3}{16}a^4 + \frac{4 \cdot 3}{4 \cdot 100}a^2x^2} = \sqrt{\frac{75}{400}a^4 + \frac{12}{400}a^2x^2} = \frac{1}{20}\sqrt{75a^4 + 12a^2x^2}.$$

Вычислим теперь площадь треугольника egh. Эта площадь равна $\frac{1}{2}eg \times hr$. Итак, $eg = \sqrt{\overline{gz}^2 + \overline{ez}^2} = \sqrt{a^2 + x^2}$. Кроме того, $eg : eh + hg : : eh - hg : er - gr$.

Но $eh = \sqrt{\overline{hp}^2 + \overline{ep}^2} = \sqrt{a^2 \frac{16}{25}x^2}$.

$$hg = ah = \sqrt{\overline{hp}^2 + \overline{ap}^2} = \sqrt{a^2 + \frac{1}{25}x^2}.$$

После подстановки пропорция примет следующий вид:

$$\sqrt{a^2+x^2};\ \sqrt{a^2+\frac{16}{25}x^2}+\sqrt{a^2+\frac{1}{25}x^2}::$$

$$::\sqrt{a^2+\frac{16}{25}x^2}-\sqrt{a^2+\frac{1}{25}x^2}:er-gr.$$

Отсюда получим

$$er-gr=\frac{a^2+\frac{16}{25}x^2-a^2-\frac{1}{25}x^2}{\sqrt{a^2+x^2}}=\frac{\frac{3x^2}{5}}{\sqrt{a^2+x^2}}=\frac{3x^2}{5\sqrt{a^2+x^2}}.$$

Следовательно, gr, которая является меньшей из двух величин, будет равна

$$\frac{1}{2}eg-\frac{1}{2}(er-gr)=\frac{1}{2}\sqrt{a^2+x^2}-\frac{3x^2}{10\sqrt{a^2+x^2}}=\frac{5a^2+2x^2}{10\sqrt{a^2+x^2}}.$$

Отсюда $gr^2=\dfrac{25a^4+20a^2x^2+4x^4}{100a^2+100x^2}$.

Итак,

$$hr=\sqrt{hg^2-gr^2}=\sqrt{a^2+\frac{1}{25}x^2-\frac{25a^4-20a^2x^2-4x^4}{100a^2+100x^2}}=\sqrt{\frac{75a^2+84a^2x^2}{100a^2+100x^2}}.$$

Следовательно, площадь треугольника egh будет

$$\frac{1}{2}eg\times hr=\frac{1}{2}\sqrt{a^2+x^2}\times\sqrt{\frac{75a^4+84a^2x^2}{100a^2+100x^2}}=\frac{1}{20}\sqrt{75a^4+84a^2x^2}.$$

Если взять на eh часть hs, равную gh, и провести gs, то станет ясно, что по причине равенства углов egh, cah и равенства линий ac, ah, gh, hs треугольник ghs будет равен и подобен треугольнику cah.

Итак, треугольники ghs, ghe, имеющие в качестве общей высоты перпендикуляр, опущенный из угла g на eh, продленный до нужного предела, относятся друг к другу, как их основания sh, eh. Следовательно, треугольники cah, egh будут относиться друг к другу так же, как линии ah, eh или как

$$\sqrt{a^2+\frac{1}{25}x^2}:\sqrt{a^2+\frac{16}{25}x^2}.$$

Вернувшись к значениям этих двух углов, найденным нами выше, мы получим

$$\frac{1}{20}\sqrt{75a^4+12a^2x^2}:\frac{1}{20}\sqrt{75a^4+84a^2x^2}::\sqrt{a^2+\frac{1}{25}x^2}:\sqrt{a^2+\frac{16}{25}x^2}.$$

Устраним дроби $\frac{1}{20}$ и знаки корня, затем приравняем произведения крайних членов с произведениями средних

$$75a^6+12a^4x^2+48a^4x^2+\frac{192}{25}a^2x^4=75a^6+84a^4x^2+3a^4x^2+\frac{84}{25}a^2x^4.$$

Приведя к общему знаменателю и разделив остаток на a^2x^2, получим $\frac{108x^2}{25}=27a^2$ и $108x^2=675a^2$. Разделим на 3: $36x^2=225a^2$. После извлечения корней получим $6x=15a$. Следовательно, $a=\frac{6}{15}x=\frac{2}{5}x$, а также $gz=\frac{2}{5}ez=az$. Отсюда следует, что $po=ap$ и что прямоугольный треугольник *apo* является равнобедренным. Это точно те же данные, соответственно которым мы нашли (§ 30), что угол *cah* равен 101°32′13″.

Известковый шпат ромбоидальный с острыми вершинами [28]. [22]

Развертка. Шесть ромбов, равных и подобных друг другу. Угол *bac* (фиг. 27) у вершины кристалла равен 75°31′20″. Угол $abg=$ $=104°28′40″$.

36. Здесь мы имеем третью ромбоидальную форму, присущую известковым шпатам. Она отличается от вышеописанных (§§ 21 и 22) тем, что обе вершины состоят из трех острых углов, между тем как у двух других шпатов соответственные углы были тупыми.

Предположим, что *abgc*, *acfe* (фиг. 25) представляют собой две из тех граней, которые соединяются по три, чтобы образовать одну из острых вершин кристалла, и что *cghf* является одной из граней, образующих противоположную вершину. Чтобы разделить ромбоид отчетливыми сечениями, необходимо, чтобы надрезы проходили параллельно ребрам *ac*, *ab*, *ae* и т. д. и проходили через линии *im*, *ln* и т. п., равным образом удаленные от этих ребер. Установив это, отделим сначала пятиугольные пластины, подобные *aimnl*, угол *ial* которых у вершины равен 101°32′13″ и углу исландского шпата, а два угла *mn* у основания прямые. Такие пластины будут увеличиваться в ширину при каждом сечении, одновременно высота их будет убывать. Когда мы достигнем точки, в которой соседние сечения придут в соприкосновение друг с другом, т. е. когда дойдем до середины сторон *bg*, *cg*, *cf*, *ef* и т. д., кристалл изменит свою форму и будет иметь шесть пятиугольных граней, подобных *abghl* (фиг. 26). Эти грани являются частями ромба *acek* с шестью малыми гранями треугольными и равнобедренными *ihp* (фиг. 27), являющимися остатком от первоначальных граней кристалла. Основание их *hp* будет равно основанию *gh* (фиг. 26) пятиугольников, а их стороны являются

---

[22] Этот шпат именуется также «ракушечным шпатом», так как его часто находят в ископаемых (окаменелых) раковинах.

смежными и равными со сторонами *lh* тех же треугольников. За пределами вышеуказанных точек соприкосновения сечения, находя одно на другое, вызовут исчезновение углов *g*, *h* пятиугольников. В результате последние будут принимать последовательно фигуры *abstuxl*, *abndrl* и т. д. до тех пор, пока они не примут формы ромба *abol*. Здесь мы получим ядро кристалла. Если сделать сечения в какой-либо одной из пятиугольных пластин *abghl*, о которых я говорил сначала, то можно заметить, что эти пластины представляют собой скопление ромбоидов, подобных ромбоиду исландского шпата, с треугольными пустотами, расположенными как на основании *gh*, так и на сторонах *bg*, *lh* и др. Пустоты эти, как уже отмечалось, образовались вследствие убывания составных молекул. Что же касается пластин либо семиугольных *abstuxl*, либо шестиугольных *abndrl*, которые отделяются после достижения точки соприкосновения соседних сечений, то легко убедиться, только взглянув на фиг. 26, что они также представляют собой скопление молекул, подобных первичной форме.

37. Эта структура позволяет получить данные для точного вычисления плоских углов вышеуказанного кристалла. Пусть *abgc* (фиг. 27) — одна из граней этого кристалла. Если разделить эту грань, проведя прямые *rp*, *sh*, *hp* через середины сторон, то можно увидеть, что треугольник *ihp* будет представлять собой остаток грани *abgc*, когда сечения, сделанные последовательно на различпых ребрах кристалла, указанных выше (§ 36), достигнут точки соприкосновения. Итак, поскольку треугольник *ihp* подобен половине ромба *abc*, вся операция сводится к определению угла *pih*. Заметим, что $ph = gh$ (фиг. 26) $= bl$, являющейся большой диагональю одной из граней *abol* ядра. Кроме того, *pi* (фиг. 27) равен *lh* (фиг. 26) $= \frac{ae}{2} = ao$, которая является маленькой диагональю того же самого ромба. Следовательно, $ph = \sqrt{3}$ (фиг. 27) и $pi = \sqrt{2}$. Треугольник *pni*, вычисленный соответственно этим величинам, дает в качестве логарифма синуса *pin* число 97 870 156, которое соответствует углу в 37°45′40″. Исходя из этого находим, что угол *pih* или равный ему угол *cab* будет равен 75°31′20″. Отсюда следует, что большой угол *abg* ромба равен 104°28′40″.

38. Определим теперь закон убываний, которому подвержены пластины, накладывающиеся на ядро. Прежде всего, однако, заметим, что эти пластины, снятые начиная с ядра, нарастают к основаниям и в то же время убывают в ширину. Таким образом, первое из этих изменений является неизбежным следствием второго. Нужно доказать теперь, что и в том, и в другом случае мы имеем дело с простым рядом молекул. Начнем с убываний, которые происходят на боковых углах дополнительных пластин. Пусть *gteho*, *goknr*, *apskh* (фиг. 29, *A*) — три из больших граней кристалла, если предположить, что он достиг той фазы, когда он имеет шесть пятиугольных граней и шесть треугольных малых равнобедренных граней, из которых одна представлена *ohk*.

Мы уже видели (§ 36), что сечения, произведенные в ромбоиде, позволяют получить телесную фигуру именно этой формы. Допустим также, что *gcbu*, *bplu*, *gulx* — ромбы, частью которых являются вышеуказанные пятиугольники. Проведя диагональ *ux*, вообразим новую пятиугольную пластину, которая будет приложена к поверхности *goknr*. Эта пластина будет неизбежно более узкой, чем та, к которой принадлежит та же самая грань. Примем *qyz* за измерительный треугольник. Так как *qz*, который, предположим, поставлен косо по отношению к плоскости чертежа, является стороной одного из маленьких ромбоидов, составляющих рассматриваемую нами пластину, то остается только получить величину *qy*, соответствующую величине прироста пластины, находящейся непосредственно под той пластиной, о которой здесь идет речь.

Так как можно считать, что треугольник *qyz* расположен в любом месте, то предположим, что угол *y* находится в середине стороны *ok*, так что *qy* составляет часть *ux*. Поскольку *zy* находится в направлении *hy*, легко увидеть, что треугольник *qyz* подобен треугольнику *huy* ввиду параллелизма *qz*, *hu* и положений *qy*, *zy* на продолжениях *uy*, *hy*. Следовательно, $hu : uy : : qz : qy$ или $\frac{1}{2}\, bu : \frac{1}{4}\, ux$ или $\frac{1}{4}\, cu : : qz : qy$ или, наконец, $bu : \frac{1}{2}\, cu : : qz : qy$. Итак, *bu* — сторона или ребро ромбоида, к которому относятся грани *gcbu*, *gulx* и т. д.; *cu* — большая диагональ одной из этих поверхностей; *qz* — сторона одной из молекул. Следовательно, *qy* будет составлять половину большой диагонали граней этой молекулы. Иначе говоря, убывание происходит здесь посредством удаления простого ряда маленьких ромбоидов.

Перейдем к изменениям, которые имеют место на основаниях дополнительных пластин и представляют собой, как я уже отмечал выше, подлинные нарастания. Проведем высоту *pf* пятиугольника *apskh*, продленную до *u*, и высоту *of* треугольника *ohk*. Допустим, что *fmi* — измерительный треугольник. Если нам уже известно, что *fm* равна стороне одного из ромбоидов, составляющих нижний край или основание пластины, к которой относится пятиугольник *apskh*, то остается только узнать, равняется ли *mi*,[23] измеряющая нарастание этой пластины по отношению к нижней, половине малой диагонали первоначального ромба или же целой диагонали. Итак, *fm* параллельна *gu*, являющейся одной из сторон ромбоида, к которому относятся грани *gcbu*, *gulx* и т. д.; *mi* параллельна *pu*, являющейся малой диагональю одной из этих граней. Кроме того, *fi* составляет часть *of*. Следовательно, треугольник *fim* подобен треуголь-

[23] См. фиг. 29, *B*. Вертикальный надрез данного тела, в котором линии *gu*, *pu*, *fo* и т. д. соответствуют тем, которые помечены теми же буквами на рис. 29, *A*. Здесь можно увидеть также треугольник *fmi* в его настоящем положении. Ломаная линия *fmiφζμo* представляет своего рода зубчатку, образуемую краями составных пластин на поверхности треугольника *ohk*.

нику *ouf*. Отсюда следует, что $uo : fu :: fm : im$ или $\frac{1}{2} gu : \frac{1}{4} pu :: fm : im$ или, наконец, $gu : \frac{1}{2} pu :: fm : im$. Из этого заключаем, рассуждая так же, как и в предыдущем случае, что *im* — половина малой диагонали одной из граней составных ромбоидов. Иначе говоря, нарастание происходит по направлению к этой части кристалла путем добавления простых рядов этих ромбоидов.

Я не буду останавливаться на изменениях, претерпеваемых пластинами по отношению к углам в основании пятиугольников, где образуются новые края, превращающие пятиугольники в семиугольники (§ 36) над точками соприкосновения соседних сечений. Поскольку эти края находятся в плоскостях, параллельных граням ядра, то все происходит так, как если бы рост этого ядра происходил без изменения его формы.

Из всего сказанного можно вывести метод, позволяющий легко начертить с помощью компаса и линейки грани основных разновидностей известкового шпата, отнесенные к одному общему ядру. Определив по своему усмотрению сторону ромбоидального тела, которое должно представлять ядро, начертим ромб *acgh* (фиг. 28), подобный любой из граней этого ромбоида, но стороны которого будут вдвое превышать стороны этих же самых граней. Кроме того, проведем две диагонали *ag*, *ch* ромба и прямую *ct*, которая должна доходить до середины *t* стороны *ah*. При этих условиях разносторонний треугольник *act* даст одну из граней шпата в форме «свиного зуба» (§ 35). Для того чтобы получить одну из граней ромбоидального шпата с очень тупыми вершинами (§ 22), надо сохранить большую диагональ *ch* и принять сторону *ah* за малую диагональ нового ромба *gfpo* (фиг. 11). Этот ромб и будет ромбом указанного шпата.

Для ромбоидального шпата с острыми вершинами (§ 36) следует также оставить большую диагональ *ch* (фиг. 28) ромба *acgh* и взять малую диагональ *ag*, чтобы сделать ее стороной нового ромба *abgc* (фиг. 27). Этот ромб будет одной из граней шпата с острыми вершинами.

Жемчужный шпат [29].

39. В различных трактатах по минералогии, которые появились до того, как я представил Академии наук свои соображения по данному вопросу, этот шпат относили обычно к тяжелым шпатам. Его кристаллы, группирующиеся беспорядочно и перекрывающие друг друга, в некоторых случаях, однако, развиты настолько, что представляется возможным четко различить их грани. Они обнаруживают тогда ромбоидальные формы, в точности подобные формам исландского шпата. Углы их равны углам такого кристалла и делятся, как и последний, параллельно своим граням на кристаллы меньшей величины и той же самой формы.

Пораженный этим сходством структуры у кристаллов, которые до сих пор рассматривались как совершенно различные, я сделал попытку точ-

нее исследовать физические и химические свойства жемчужного шпата.

Г-н Бриссон [30], который рассматривает вопрос об удельном весе естественных тел в своем крайне ценном сочинении, поражающем как точностью результатов, так и верностью классификации (которая будет включена в методическую классификацию Добантона), любезно предоставил мне данные относительно удельного веса тяжелых шпатов, жемчужного шпата и ромбоидального известкового шпата. Приведем величины этих удельных весов, взятые по отношению удельного веса воды, который г-н Бриссон приравнял 1000.

Тяжелый шпат с ромбоидальными слоями — 44 434. Тяжелый шпат, состоящий из белых непрозрачных масс, — 44 300. Жемчужный шпат — 28 378. Известковый шпат ромбоидальный — 27 151.

Из этих вычислений явствует, что удельный вес жемчужного шпата значительно меньше отличается от удельного веса известковых шпатов, чем от удельного веса тяжелых шпатов.

Г-н Бертолле [31] также любезно сообщил мне результаты анализа жемчужного шпата. Этот выдающийся химик обнаружил, что данный шпат имеет состав известкового вещества с небольшой примесью железа, в количестве четырех или четырех с половиной гран на сто. Таким образом, жемчужный шпат, с какой бы точки зрения его не рассматривать, должен быть отнесен к известковым шпатам.

Если он имеет более высокий удельный вес и не дает столь же быстрого шипения при соединении с кислотами, то это различие объясняется, по-видимому, содержанием в нем примеси железистых частиц.

Глава IV

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ К ТЯЖЕЛЫМ ШПАТАМ [32]

40. Вслед за известковым шпатом я рассматриваю тяжелые шпаты, так как их первичная форма имеет сходство с формой известкового шпата. Кристаллы этого рода привлекли внимание физиков тем, что многие из них обладали свойством превращаться в фосфоры [33]. С этой целью их подвергали соответствующей обработке, выставляли на несколько минут на солнце и затем переносили в темное место. Они являлись также предметом химических исследований, имевших целью извлечь из них с помощью анализа особую землю, обусловливающую их значительную тяжесть. Однако природа этого вещества еще недостаточно хорошо известна. Что же касается минералогических данных, позволяющих отличить эти шпаты от фтористых фосфоресцирующих шпатов, то мне кажется, что все полученные до сих пор показания недостаточны для точного и ясного

разграничения этих двух родов камней, особенно, когда процесс кристаллизации не поддается точному определению вследствие неправильности их формы. В этом случае структура, по-моему, дает наиболее точные показания для их разграничения. Если отделить с помощью режущего инструмента кусок камня, природа которого представляется сомнительной, и осторожно ударить по этому камню, то обнаружатся трещинки спайности. В результате получатся или ромбы, которые нельзя подразделить на треугольники, если камень относится к тяжелым шпатам, или же равносторонние треугольники, если кусок взят от фосфоресцирующего шпата. Это легко можно понять из приводимого мною объяснения структуры этих двух родов кристаллов.

Первичная форма

Тяжелый шпат в виде ромбоидальных пластин [34].

Р а з в е р т к а. Два ромба, сходных с ромбом *abcd* исландского шпата (фиг. 10). Четыре равных прямоугольника.

41. Два ромба, которые образуют большие противоположные грани вышеуказанного кристалла, имеют, насколько я мог судить по снятым размерам, те же углы, что и ромб исландского шпата. Иными словами, самый большой из этих углов равен 101°32′13″, а самый малый 78°27′47″ (§ 21). Предполагая наличие совершенного их равенства, [24] я взял ромбоидальную пластину известкового шпата и приложил ее к пластине тяжелого шпата так, чтобы большие углы того и другого совпадали. Мне показалось при этом, что линии, которые образуют эти углы, точно соответствовали друг другу без какого-либо заметного различия. Однако смешать пластину тяжелого шпата с пластиной известкового шпата нельзя, так как в последнем все грани, будучи ромбоидальными, расположены наклонно друг к другу, между тем как в тяжелом шпате боковые грани являются прямоугольниками и перпендикулярны к двум большим граням кристалла. Тяжелый шпат, состоящий из ромбоидальных пластин, делится параллельно его различным граням на частичные ромбоиды или на маленькие призмы прямые и четырехугольные, основания которых образуют ромбы с углами, равными углам первичной формы. Структура кристалла не представляет соотношения высоты этих призм со стороной ромба, поскольку можно разделить призму в любом месте посредством сечений, параллельных ее двум основаниям. Это позволяет получить другие призмы более короткие, высота которых изменяется до бесконечности. Ниже я приведу доказательства того, что эти призмы, рассматриваемые как составные молекулы тяжелых шпатов, имеют простейшую форму, иными словами, что их боковые грани являются квадратными.

---

[24] В § 47 приведены другие данные, которые приводят к тем же величинам углов.

Вторичная форма

Тяжелый шпат в виде восьмигранника с острыми вершинами [35]. (рис. IV, фиг. 30). [25]

Развертка. Четыре трапеции *bagm* (фиг. 31). Шесть равнобедренных треугольников *asg* (фиг. 32). Углы трапеции $bmg=agm=46°8'46''$, $mba=gab=133°51'14''$. Углы треугольника $gas=53°7'50''$, $ags=asg=63°26'5''$.

42. Сечения, посредством которых отделяют большие слои кристалла, проходят параллельно плоскости, по-видимому, проходящей через высоты *ac*, *bp* (фиг. 30) треугольников, образующих ее четыре малые грани. Эти пластины представляют собой по своим большим граням удлиненные шестиугольники, подобные *ABGHNO* (фиг. 33). Длина их *AH* постоянна. Они нарастают до слоя, находящегося в самой большой средней части кристалла. Разбив эти шестиугольники, находим, что они делятся на маленькие четырехугольные призмы, подобные первичной форме, в которых малый угол ромба повернут к вершине *A* или *H* шестиугольника. Треугольники, которые можно видеть на больших краях шестиугольников, свидетельствуют о наличии маленьких пустот, находящихся между внешними углами составных молекул, расположенных вдоль этих краев. Положение ядра первичной формы указано ромбом *PRST*.

43. Что касается закона убывания, претерпеваемого дополнительными слоями в то время, как они уменьшаются в ширину, то его можно найти, следуя вышеизложенным принципам (§ 13). Но поскольку высота составных молекул неизвестна, следует прибегнуть к гипотезе, которая, как мы увидим, подтверждается соответствием данных вычисления и наблюдения. Итак, я предположил, что боковые грани этих молекул являются квадратами.[26] Основываясь на этом предположении, допустим, что *ocl*

---

[25] Вершины кристаллов, рассматриваемых здесь, образованы треугольными гранями *ags*, *ogs*, *bqm*, *xqm*, соединяющимися попарно своими основаниями с крайними концами кристалла. Углы, образуемые плоскостями этих треугольников возле ребер *sg*, *qm*, являются в данном случае острыми углами.

[26] Небесполезно отметить, что сечения, проведенные параллельно этим квадратам, будут менее ясными, чем те, которые проходят параллельно ромбам оснований. Поэтому последние фигуры обнаруживают меньше точек соприкосновения, имея меньшую протяженность, чем квадрат подобного же контура. Это положение совпадает с наблюдением, о котором уже говорилось (сноска 14). Его можно считать справедливым и по отношению к другим видам кристаллов, которые я рассматриваю в моем «Опыте». Подтверждением этому явились также исследования довольно большого числа кристаллических веществ. Данные этих исследований я имею в виду в дальнейшем опубликовать. Например, кристаллы полевого шпата обнаруживают три различных сечения: одно в направлении косоугольного параллелограмма, а два других — параллельно двум прямоугольникам. Первое из этих сечений так же, как и то, которое проходит параллельно одному из прямоугольников, более ясное, чем то, которое параллельно

(фиг. 34) — измерительный треугольник. Из гипотезы явствует, что сторона ol равна стороне Bi (фиг. 33) — одной из составных молекул. Остается только определить cl, которая должна дать закон убывания. Итак, угол ocl равен углу ran (фиг. 30), образуемому перпендикуляром ar, опущенным от конца ребра ab на ребро gm, и an, проведенным перпендикулярно к оси cp кристалла. Иными словами, угол ocl (фиг. 34) является половиной угла, образуемого большими гранями кристалла на ребре ab или ox. При этих условиях достаточно только бросить взгляд на кристалл, чтобы убедиться в том, что в данном случае ol меньше cl. Из этого следует, что последняя линия будет представлять собой целую малую диагональ одного из составных ромбов, а не половину этой диагонали (в последнем случае ol было бы больше cl). Таким образом, вычислив угол ocl и использовав предшествующие данные, взяв их в двойном размере, мы должны получить угол, равный углу на самом кристалле, образуемый наклоном двух граней, соединяющихся в месте расположения ребра ab или ox. Основываясь на равенстве углов ромба в тяжелом и в известковом шпатах, можно легко определить, что $lo=\sqrt{5}$ (§ 30); $cl=\sqrt{8}$. Следовательно, $co=\sqrt{13}$. Решив прямоугольный треугольник ocl с помощью этих данных, получим для логарифма ocl число 979 225 133, которое соответствует углу в 38°19′43″ с остатком 96/133, равным приблизительно 30″. Отсюда угол, образуемый относительным наклоном больших граней кристалла на ребрах ab, ox, должен быть равен 76°39′27″. Угол, образуемый наклоном этих же граней на ребра gm, qs, будет равен 103°20′33″. Наблюдение дает те же углы. Это не только подтверждает сделанное нами предположение относительно формы составных молекул, но и позволяет заключить, что дополнительные слои убывают в данном случае посредством удаления двойного ряда молекул (§ 14). Таким образом, эти слои могут быть последовательно представлены шестиугольниками $ABGHNO$, $AgdHkm$ (фиг. 33).

Что же касается угла, образуемого малыми треугольными гранями bqm, xqm, с одной стороны, и ags, ogs — с другой (фиг. 30) на ребрах qm, gs, то его величина, очевидно, будет равна 78°27′47″, поскольку, соответственно структуре кристалла, этот угол равен малому углу ромба первичной формы.

44. Вышеприведенные соображения позволяют легко произвести вычисление плоских углов кристалла. Попытаемся прежде всего определить углы треугольной поверхности ags. Стороны an и cn относятся друг

другому прямоугольнику. Таким образом, определяя путем вычисления размеры граней молекул в соответствии с законом убывания, я нашел, что последний из вышеуказанных мною прямоугольников имеет большую поверхность, относящуюся как $3:\sqrt{3}$ по сравнению с поверхностью другого прямоугольника и косоугольного параллелограмма, которые равны друг другу.

к другу, как половина малой диагонали ромба тяжелого шпата относится к половине большой диагонали того же самого ромба или, что то же самое, как полная малая диагональ относится к большой. Это соотношение, очевидно, соответствует структуре шестиугольных граней, со-

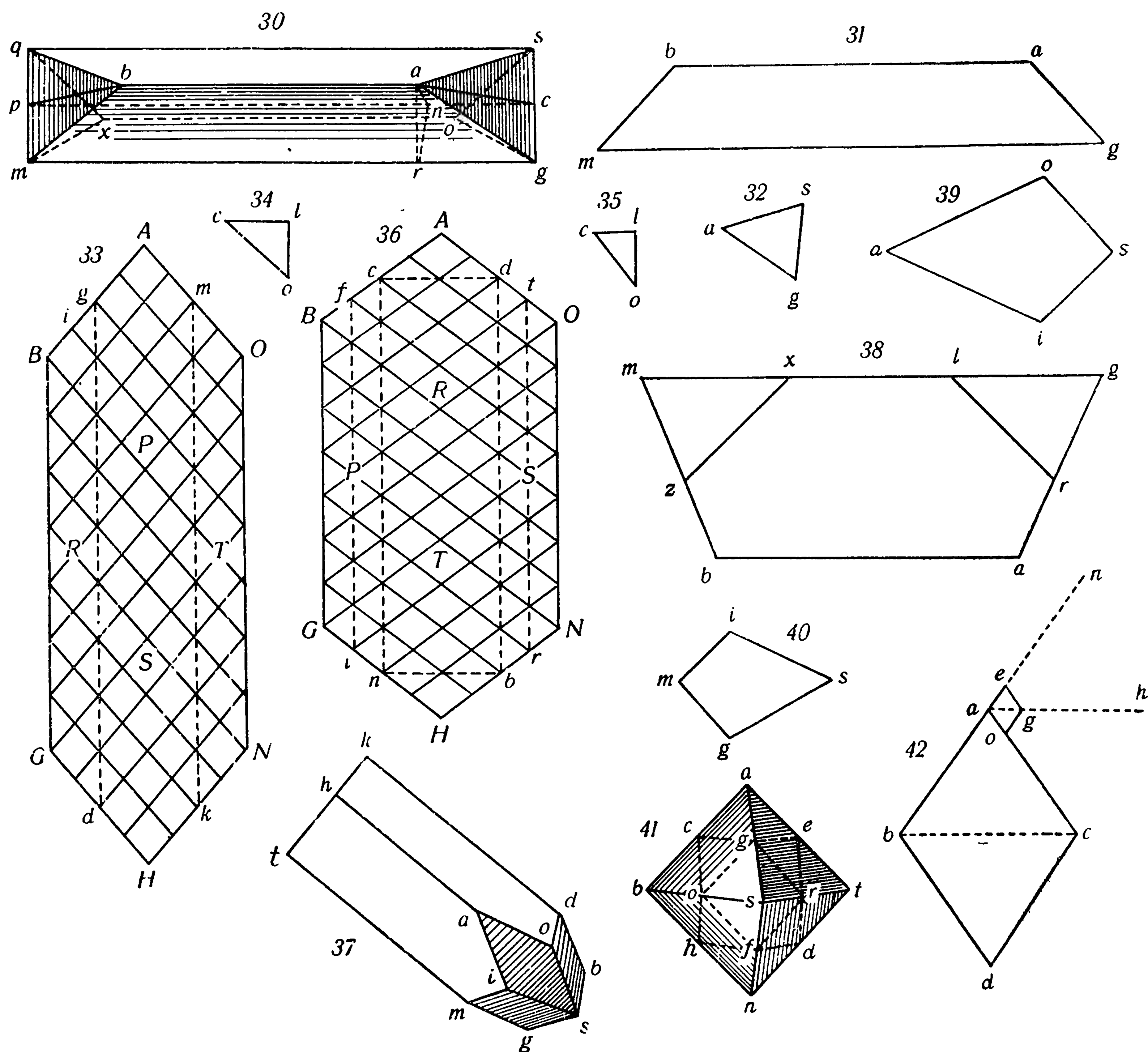


Рис. IV.

ставляющих кристалл. Иначе говоря, $an : cn : : \sqrt{8} : \sqrt{12}$. К тому же вследствие подобия треугольников col (фиг. 34) и ran (фиг. 30) мы имеем $an : nr : : cl : ol : : \sqrt{8} : \sqrt{5}$. Отсюда следует, что мы можем при-

равнять $an=\sqrt{8}$, $cn=\sqrt{12}$ и $nr=\sqrt{5}$. Проведя ac перпендикулярно на gs, получим $ac=\sqrt{\overline{an}^2+\overline{cn}^2}=\sqrt{8+12}=\sqrt{20}$. Теперь из прямоугольного треугольника acg нам известно, что $cg=nr=\sqrt{5}$ и $ac=\sqrt{20}$. Решив этот треугольник, получим для логарифма тангенса угла agc число 103 010 300, соответствующее углу в 63°26′5″, следовательно, угол asg будет иметь ту же величину. В результате угол gas будет равен 53°7′50″. Определим теперь углы трапеции $gmba$. В прямоугольном треугольнике agr мы имеем $rg=cn=\sqrt{12}$ и $ar=\sqrt{an^2+rn^2}=\sqrt{8+5}=\sqrt{13}$.

Решив этот треугольник, мы найдем для логарифма тангенса угла agr число 100 173 811, которое соответствует 46°8′46″. Это и есть величина каждого из углов на основании трапеции. Отсюда следует, что величина угла gab или равного ему mba будет равна 133°51′14″.

Тяжелый шпат клинообразный с тупыми вершинами [36].

Развертка. Четыре трапеции $bmga$ (фиг. 38). Четыре прямоугольных равнобедренных треугольника. Углы трапеции $bmg=agm=$ =63°26′6″, $gab=mba=$116°33′54″.

45. Кристаллы этого исследованного мной шпата были доставлены с горы Этна. Включающая их порода была смешана с серой. У каждой вершины такого кристалла часто наблюдается наличие двух дополнительных граней, замещающих два телесных угла, расположенных на концах ребер этих вершин. В ходе моего рассуждения эти дополнительные грани я на время оставлю без внимания.

Восьмигранный кристалл делится так же, как и кристалл предшествующей разновидности. Отличие, однако, в том, что в ромбах, составляющих шестиугольные слои, отделяемые при каждом срезе, большой, а не малый угол обращен к вершине кристалла, который по этой причине является тупоугольным. В этом можно убедиться, посмотрев на фиг. 36, представляющую собой шестиугольный срез этого кристалла.

46. Убывание налегающих слоев в этом восьмиграннике происходит в соответствии с наиболее простым законом, иными словами, путем удаления одного ряда молекул. Для доказательства этого положения представим себе данный восьмигранник в соответствии с фиг. 30, но отличающийся от изображенного по величине углов. Примем в этом случае col (фиг. 35) за измерительный угол. Здесь, как показывает осмотр кристалла, ol больше, чем cl. Из этого следует, что cl представляет собой только половину большой диагонали одного из составных ромбов. Что же касается линии ol, то она будет всегда равна стороне составной молекулы. Следовательно, получим $ol=\sqrt{5}$, $cl=\sqrt{3}$ и $co=\sqrt{8}$. Эти величины дают 52°14′19″ для угла ocl. Отсюда следует, что угол, образуемый наклонами больших граней кристалла к ребрам ab,

ox, равен в данном случае 104°28′38″. Угол, образуемый наклоном тех же граней к ребрам gm, sq, будет равен 75°31′22″, что подтверждается также наблюдением. Таким образом, слои наложения убывают в этом кристалле в соответствии с законом, указанным выше. Иными словами, шестиугольные грани этих слоев могут быть последовательно представлены фигурами $ABGHNO$, $AfiHrt$ и т. д. (фиг. 36).

47. Определим теперь плоские углы кристалла, начиная с углов треугольных граней sag. Подобные треугольники anr, ocl дают $an : nr : : cl : ol : : \sqrt{3} : \sqrt{5}$. Кроме того, $an : cn : \sqrt{3} : \sqrt{2}$. Следовательно, можно приравнять $an = \sqrt{3}$; $nr = \sqrt{5}$ и $cn = \sqrt{2}$. Итак, $ac = \sqrt{\overline{an}^2 + \overline{cn}^2} = \sqrt{5}$. Следовательно, прямоугольный треугольник acg будет равнобедренным. Из этого заключаем, что грань sag сама является прямоугольным равнобедренным треугольником. Последнее подтверждается также и наблюдением.[27]

Что касается углов трапеции $gmba$, то здесь, рассматривая прямоугольный треугольник agr, мы получаем $gr = cn = \sqrt{2}$ и $ar = \sqrt{\overline{an}^2 + \overline{nr}^2} = \sqrt{3+5} = \sqrt{8}$. Решение этого треугольника даст нам логарифм тангенса agr, равный 103 010 300, что соответствует 63°26′5″ — величине каждого из двух углов agm, bmg. Отсюда следует, что величина каждого из углов gab, mba равна 116°33′55″.

Допустим теперь, что на каждом конце кристалл имеет две дополнительные грани, о которых я говорил выше (§ 45). Если эти грани достаточно велики для того, чтобы соприкасаться своими вершинами, то в этом случае они станут удлиненными четырехугольниками, подобными $oais$ (фиг. 37). Треугольные грани кристалла сами превратятся в другие четырехугольники $dosb$, $imgs$, а большие грани станут неправильными шестиугольниками, две половины которых $ahtmi$, $ahkdo$ представлены на фиг. 37. Пока сечения, производимые в этом кристалле, проходят только через случайные грани, они представляют собой прямоугольники, как например $cdbn$ (фиг. 36). За пределами точки, где эти сечения проходят также по четырехугольникам, оставшимся от треугольных граней кристалла, прямоугольники превращаются в восьмиугольники, подобные $cBGnbNOd$ (фиг. 36). Наконец, форма последнего сечения, проходящего по двум конечным точкам кристалла, будет шестиугольной, как и у тех срезов, которые отделяются от простого восьмигранника, не имеющего дополнительных граней. Если же, наоборот, дополнительные грани слишком малы для того, чтобы соприкасаться друг с другом, и треугольные плоскости восьмигранника, как это легко можно увидеть, оказываются пре-

---

[27] Существование прямого угла, о котором здесь идет речь, гарантирует найденные величины для всех других углов соответственно принципу, изложенному на стр. 14—15 Введения.

вращенными в пятиугольники, тогда восьмиугольные сечения сохранят свою фигуру и не примут формы шестиугольника.

48. Вышеуказанные дополнительные грани образуются в результате действия того же закона убывания, который применен к восьмиграннику с острыми вершинами (§ 42) относительно больших сторон слоев, составляющих этот восьмигранник. Иными словами, слои кристалла с дополнительными гранями вместо того, чтобы быть постоянными по своей оси или по своей высоте, убывают к краям *A*, *H* (фиг. 36) вследствие удаления двойного ряда составных молекул. Поэтому угол, образуемый плоскостями дополнительных граней, окажется равным 76°39′27″, подобно тому углу, который образуется наклонами больших граней восьмигранника с острыми вершинами к ребрам *ab*, *ox* (фиг. 30).

49. Я уже указывал (§ 13), что при убывании путем удаления двойного ряда составных молекул на поверхности кристалла могут появиться заметные штрихи. Мне удалось различить эти штрихи с помощью лупы на дополнительных гранях вышеупомянутого восьмигранника. Следовательно, эти грани как раз относятся к числу тех, слои которых убывают согласно указанному мной закону.

50. Основываясь на данных этого закона, а также на структуре кристалла, путем вычисления можно определить плоские углы этого же кристалла при наличии дополнительных граней. Я ограничусь тем, что приведу результат этого вычисления.

1. Для грани *aosi* (фиг. 37 и 39) $iso=87°42'27''$, *aos* и $ais=110°29'16''$ и $iao=51°19'1''$.

2. Для четырехугольника *simg* (фиг. 37 и 40) $img=90°$, *mis* или $mgs=108°25'48''$, $gsi=53°8'24''$.

3. Для шестиугольника *lrabzx* (фиг. 38) $bar=abz=116°33'54''$, $lra=$ $=bzx=108°26'$, $rlx=zxl=135°0'6''$.

Тяжелый шпат может дать также многие другие разновидности форм. Этот шпат, например, может кристаллизоваться то в виде шестиугольных пластин, то в виде прямоугольных пластин с косыми гранями на краях. В последнем случае он носит название тяжелого шпата в виде таблиц. Не представляет большого труда свести структуру этих пластин к структуре вышеупомянутых восьмигранных кристаллов, поскольку они являются, в сущности, только сегментами от них. С той же легкостью можно определить закон убывания для налегающих слоев в том случае, когда кристаллы имеют на краях скосы, образовавшиеся в результате того же убывания.

Глава V

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ К ФОСФОРЕСЦИРУЮЩИМ ПЛАВИКОВЫМ ШПАТАМ [37]

51. Большинство кристаллов этого рода в еще большей степени, чем тяжелые шпаты, способны светиться в темноте. Для этого достаточно без всякой предварительной подготовки бросить обломки данного шпата на раскаленные угли. Этот род камней, не отличающийся разнообразием форм, представляет вместе с тем большое разнообразие окрасок. Здесь можно встретить самые различные и самые яркие цвета, от природы присущие кристаллам. Вследствие такой особенности этот камень часто отождествляют с фиолетовым горным хрусталем, а также с многими другими драгоценными камнями под названием: ложный аметист, ложный изумруд, ложный рубин и т. д. Формы плавиковых шпатов ограничиваются октаэдром и кубом. Последняя форма встречается наиболее часто, но с некоторыми видоизменениями, свидетельствующими о переходе от одной из этих форм к другой. Однако, как увидим в дальнейшем, эти формы, столь простые и столь правильные, скрывают структуру крайне неопределенного характера, позволяющую только догадываться об истинной форме составных молекул этих шпатов.

Первичная форма

Фосфоресцирующий фтористый шпат в виде октаэдра.

Развертка. Восемь равносторонних треугольников.

52. Различные кристаллы первичной формы, структуру которых мы до сих пор рассматривали, могут быть разделены только на маленькие кристаллы одной формы, имеющей те же углы, что и целый кристалл. Иначе обстоит дело с октаэдром плавикового шпата. Каким бы способом не производить сечения, чтобы отделить его составные части, невозможно свести их к единой форме. Разделение всегда дает кристаллы по меньшей мере двух форм: октаэдры и тетраэдры.

Пусть *abnts* (фиг. 41) — октаэдр фосфоресцирующего шпата. Предположим, что через середины ребер этого октаэдра *c*, *o*, *g*, *f*, *d* и т. д. мы проводим режущие плоскости, направленные параллельно его граням (что является единственно возможным способом разделения данного кристалла с помощью четких сечений). Произведенные таким образом различные срезы позволят получить шесть частичных октаэдров, из которых каждый совмещается одной из своих пирамид с одним из телесных углов (вершин) полного октаэдра, а также восемь тетраэдров с равносторонними гранями, которые совпадают одним из своих телесных углов (вершин) с центром полного октаэдра и с вершинами нижних пирамид

частичных октаэдров. Треугольники *cog*, *gre*, *ohf* и т. д. представляют наружные грани этих тетраэдров. Кроме того, каждый частичный октаэдр, имеющий половинную высоту по отношению к высоте полного октаэдра, составляет $\frac{1}{8}$ этого октаэдра, а каждый тетраэдр составляет $\frac{1}{4}$ одного из частичных октаэдров. Заметим теперь, что, разделив тетраэдр параллельно его граням посредством сечений, сделанных на половинах сторон этих граней, мы получим четыре новых тетраэдра, из которых каждый составит $\frac{1}{8}$ полного тетраэдра плюс один октаэдр, являющийся половиной того же тетраэдра.

Предположим далее, что посредством новых сечений, подобных тем, которые только что были описаны, мы подразделим полученные сначала шесть октаэдров и восемь тетраэдров на новые октаэдры и тетраэдры. В этом случае каждый тетраэдр составит четверть одного из октаэдров, полученных путем такого же деления. Числа октаэдров и тетраэдров, которые мы будем последовательно получать, образуют два следующих сходящихся ряда:

для октаэдров: 6. 44. 344. 2736. 21 856 и т. д.;

для тетраэдров: 8. 80. 672. 5440. 43 648 и т. д.

Выразим теперь каждый из членов этих двух рядов общей формулой, которую будем использовать и в дальнейшем. Можно заметить, что в верхнем ряду любой член ряда n в восемь раз превышает предшествующий член минус 2, возведенное в степень n. При этом условии, если первый член — 6, выражения различных членов ряда будут следующими:

$$6,\ 6\cdot 2^3-2^2,\ 6\cdot 2^6-2^5-2^3,\ 6\cdot 2^9-2^8-2^6-2^4\ldots,$$

выражение любого члена будет иметь вид

$$A=6\cdot 2^{3n-3}-2^{3n-4}-2^{3n-6}-2^{3n-8}\ldots 2^n.$$

Итак, отрицательные члены, взятые в обратном порядке, образуют возрастающую геометрическую прогрессию, в которой первый член $a=2^n$, последний член $u=2^{3n-4}$. Пропорция здесь $q=4$. Следовательно, $s=\frac{qu-a}{q-1}=\frac{4\cdot 2^{3n-4}-2^n}{3}=\frac{2^{3n-2}-2^n}{3}=\frac{1}{12}2^{3n}-\frac{1}{3}2^n$.

Подставив, получим:

$$A=6\cdot 2^{3n-3}-\frac{1}{12}2^{3n}+\frac{1}{3}2^n=\frac{6}{8}2^{3n}-\frac{1}{12}2^{3n}+\frac{1}{3}2^n=\frac{2}{3}2^{3n}+$$
$$+\frac{1}{3}2^n=\frac{2}{3}8^n+\frac{1}{3}2^n.$$

Что касается закона, которому следуют члены нижнего ряда, то здесь надо отметить, что каждый из этих членов вдвое превышает соответствующий член верхнего ряда минус 2, возведенное в степень $h+1$. Отсюда следует, что общее выражение для любого члена этого ряда будет

$$B=\frac{4}{3}8^n+\frac{2}{3}2^n-2^{n+1}=\frac{4}{3}8^n+\frac{2}{3}2^n-2.2^n=$$

$$=\frac{4}{3}8^n-\frac{4}{3}2^n=\frac{4}{3}(8^n-2^n).$$

Можно отделить от октаэдра фтористого шпата также части, имеющие иную форму, чем октаэдр и тетраэдр. Например, можно получить ромбоиды, шесть граней которых будут иметь большой угол, равный 120°. Однако такие ромбоиды представляют сами по себе только соединения октаэдра и двух тетраэдров, наложенных на две противоположные грани этого октаэдра. Вообще говоря, части, отделенные от целого кристалла, всегда сведутся при последнем делении к октаэдрам и к тетраэдрам. При этом невозможно даже при наличии идеальных сечений допустить октаэдр, разделенный на тетраэдры, подобные вышеупомянутым, т. е. такие, грани которых были бы равносторонними треугольниками.

53. Если ограничиться простой видимостью, то следовало бы допустить наличие в плавиковом шпате смешанной структуры из составных молекул двух различных форм. Однако подобное предположение противоречило бы как принципу аналогии, основанному на однообразии структуры прочих кристаллов, так и нашим представлениям о простоте строения естественных тел. Я предполагаю, следовательно, что мы имеем здесь дело с одной из вышеуказанных двух форм, которая присутствует в виде частей кристаллов, находящихся на краях составных слоев вторичных кристаллов. Иначе говоря, я думаю, что либо тетраэдры, либо октаэдры свелись бы к нулю, если бы мы могли довести деление плавикового шпата до составных молекул. Согласно этой гипотезе первые октаэдры, образуемые сочетанием составных молекул, состояли, например, только из шести маленьких октаэдров или же из восьми тетраэдров, соединенных по краям. Последние, сочетаясь затем с другими кристаллами такой же формы, образовали октаэдры определенного объема, в которых имелись недоступные для нашего глаза пустоты, вызванные отсутствием тетраэдров или октаэдров. Так как еще ни разу не удавалось получить фтористый шпат в форме тетраэдра, между тем, как октаэдр со всеми его модификациями обычен для этого рода кристаллов, то было бы, по-видимому, более естественным предположить, что молекулы этого шпата имеют форму октаэдров. Однако значительная простота фигуры тетраэдра также позволяет отдать предпочтение именно этой форме. Я не решаюсь здесь остановиться на том или другом решении. Надеюсь, что задуманные

мною исследования некоторых других кристаллов, структура которых также позволяет допустить наличие внутренних пустот, прольют свет на вышеуказанную проблему и дадут нам возможность утвердиться в том или другом мнении.

Количество пустоты, которая, по моему предположению, должна существовать в октаэдре плавикового шпата, не может представлять серьезных осложнений. Допустим наличие кристалла, в котором отсутствуют пустоты. Пусть a^3 — плотность одного из маленьких составных октаэдров; $^1/_4 a^3$ — плотность одного из соответствующих тетраэдров. Отсюда легко заключить соответственно данным, полученным выше, что плотность всех октаэдров будет относиться к плотности тетраэдров, как

$$\frac{2}{3}a^3 8^n + \frac{1}{3}a^3 2^n \text{ к } \frac{1}{4}a^3\left(\frac{4}{3}8^n - \frac{4}{3}2^n\right) = \frac{1}{3}a^3 8^n - \frac{1}{3}a^3 2^n.$$

По мере того, как увеличивается n, количество $a^3 2^n$ становится меньшим относительно количества $a^3 8^n$. Таким образом, если последовательно сделать $n=1$, $n=2$, $n=3$ и т. д., то $a^3 2^n = \frac{1}{4}a^3 8^n$, $a^3 2^n = \frac{1}{16}a^3 8^n$, $a^3 2^n = \frac{1}{64}a^3 8^n$ и т. д.; и вообще $a^3 2^n = \frac{1}{4}na^3 8^n$. Следовательно, если представить через n число, соответствующее последнему из всех возможных делений, то, поскольку это число является в некотором роде бесконечным, количество $a^3 2^n$ может рассматриваться как почти равное нулю по отношению к количеству $a^3 8^n$. Если же предположить, что кристалл состоит только из октаэдров, количество пустоты будет относиться к количеству вещества приблизительно как $\frac{1}{2}a^3 8^n$ к $\frac{2}{3}a^3 8^n$. Иными словами, оно будет равно почти половине. Если же, наоборот, допустить существование только одних тетраэдров, количество пустоты будет более чем вдвое превышать количество вещества. Это предположение можно считать вполне вероятным, если принять во внимание значительную пористость тел.

Вторичная форма

Фосфоресцирующий плавиковый шпат в виде куба.

54. Выше я уже указал (§5), каким способом следует делить куб фосфоресцирующего шпата для того, чтобы получить из него октаэдрическое ядро. Слои, покрывающие это ядро, будут, как я отметил, одни треугольной, а другие восьмиугольной формы. Если обратить внимание на то, что эти слои могут быть подразделены только сечениями, парал-

лельными граням ядра, то легко можно понять, что в этом случае их большие грани окажутся разделенными на некоторое число равносторонних треугольников. Одни из них, как например *k*, *x*, *y* (фиг. 2), будут представлять собой грани маленьких октаэдров, входящих в толщу слоев, а другие — *t*, *z* — пустоты, расположенные между этими октаэдрами, и наоборот. Таким образом, края *bc*, *df* будут все испещрены маленькими бугорками, которые можно было бы заметить на поверхности куба, если бы мы обладали достаточно совершенными оптическими приборами.

55. Что касается убывания налегающих слоев, то легко увидеть, что они имеют место только относительно сторон *bc*, *df*, *ae* (фиг. 2), соответствующих телесным углам ядра. Пусть *abdc* (фиг. 42) — геометрический разрез ядра, взятый на высоте *ab*, *bd*, *dc*, *ca* четырех граней октаэдра. Определим закон убывания, происходящего в части, которая соответствует углу *a*. Согласно принципу, изложенному выше (§ 27), нужно будет высчитать эти убывания относительно плоскости, которая будет находиться на одном уровне с треугольной гранью с высотой *ab*; или, что то же самое, относительно линии *an*, являющейся продолжением *ab*. Предположим, что *ah* проведена параллельно *bc*. Ясно, что края слоев наложения будут смежными с этой линией *ah*. Допустим *ago* — измерительный треугольник для данного случая. Мы получим *og*, равное высоте одной из граней первичной октаэдрической молекулы. Кроме того, *og* параллельна *ab*. Следовательно, треугольник *ago* подобен треугольнику *abc*. Из этого вытекает, что *ao* — также высота одной из граней составной молекулы. Если достроить ромб *aogc*, то он будет представлять срез подобный *abdc*. Отсюда следует заключить, что в результате происходит удаление одного ряда маленьких октаэдров.[28]

56. Что касается клинообразного октаэдрического фосфоресцирующего шпата, две вершины которого заканчиваются в виде клина, а не острия, то этот кристалл представляет собой не что иное, как ядро куба, удлиненное путем наложения новых треугольных слоев на двух противоположных сторонах простого октаэдра. Также легко представить себе структуру всех форм кристаллов, являющихся переходными от формы октаэдра к форме куба. Сюда, например, относится структура кристалла, у которого четырнадцать граней — шесть квадратов и восемь равносторонних треугольников, заменяющих телесные углы куба. Все эти переходные формы обнаруживаются сами собой в тот момент, когда куб плавикового шпата делят для того, чтобы извлечь из него октаэдрическое ядро.

57. Кристаллизация морской соли дает те же основные разновидности, что и кристаллы фосфоресцирующего фтористого шпата. Однако, не-

---

[28] Если предположить, что составные молекулы имеют форму тетраэдров, а не октаэдров, то подобным же образом мы найдем, что убывания происходят за счет удаления одного ряда этих тетраэдров.

смотря на тождество этих форм, структура будет совершенно различной, так как плавиковый шпат состоит только из октаэдров или тетраэдров, между тем как морская соль является соединением маленьких кубов. Таким образом, первичная форма одного из этих родов кристаллов является по отношению к другой только вторичной формой и наоборот. Каждый может легко сравнить одну с другой, принимая во внимание то, что было сказано в начале этого сочинения (§ 9) относительно структуры октаэдрической морской соли.

Глава VI

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ К КРИСТАЛЛАМ ГИПСА

58. Структура кристаллов гипса обычно не отличается сложностью и может быть определена в большинстве разновидностей по более или менее отчетливым признакам. Редко не удается обнаружить на этих кристаллах трещин, дающих наблюдателю ясное представление о форме и об относительном расположении их составных частей. Так, например, уже в 1710 году, т. е. в период, когда наука о кристаллах еще только зарождалась, г-н де ля Гир представил Академии трактат по исследованию структуры гипса в виде дисков с Монмартра. Как я надеюсь доказать в дальнейшем, рассуждения этого ученого академика хитроумны, но недостаточно обоснованы. Это объясняется, конечно, тем, что он подвергал исследованию только фрагменты гипса, рассматривал только отдельные его части, изолированные от целого, где все взаимообусловлено и связано самым теснейшим образом. Поэтому он и не смог придти к выводам, которые позволяют сделать сравнение одной формы с другой. В результате он не имел возможности свести к одной первичной форме все разновидности одного и того же рода кристаллов. Так как исследование вышеуказанных кристаллов до сего времени не дало мне достаточных показателей для точного определения величины их углов, то я измерил основные из этих углов с наивозможной тщательностью, а затем вывел из этих данных посредством вычисления величины других, зависящих от них углов с точностью до нескольких долей градуса.

Первичная форма

Гипс в виде ромбоидальных пластин. Гипс с ромбоидальными кристаллами [38].

Развертка. Два косоугольных параллелограмма *ABCD* (рис. V, фиг. 43) и шесть прямоугольников. Углы параллелограмма $BAD = BCD = 113°$, $ADC = ABC = 67°$.

59. Упомянутые пластины подразделяются, как и все другие кристаллы первичной формы, посредством сечений, параллельных их различным

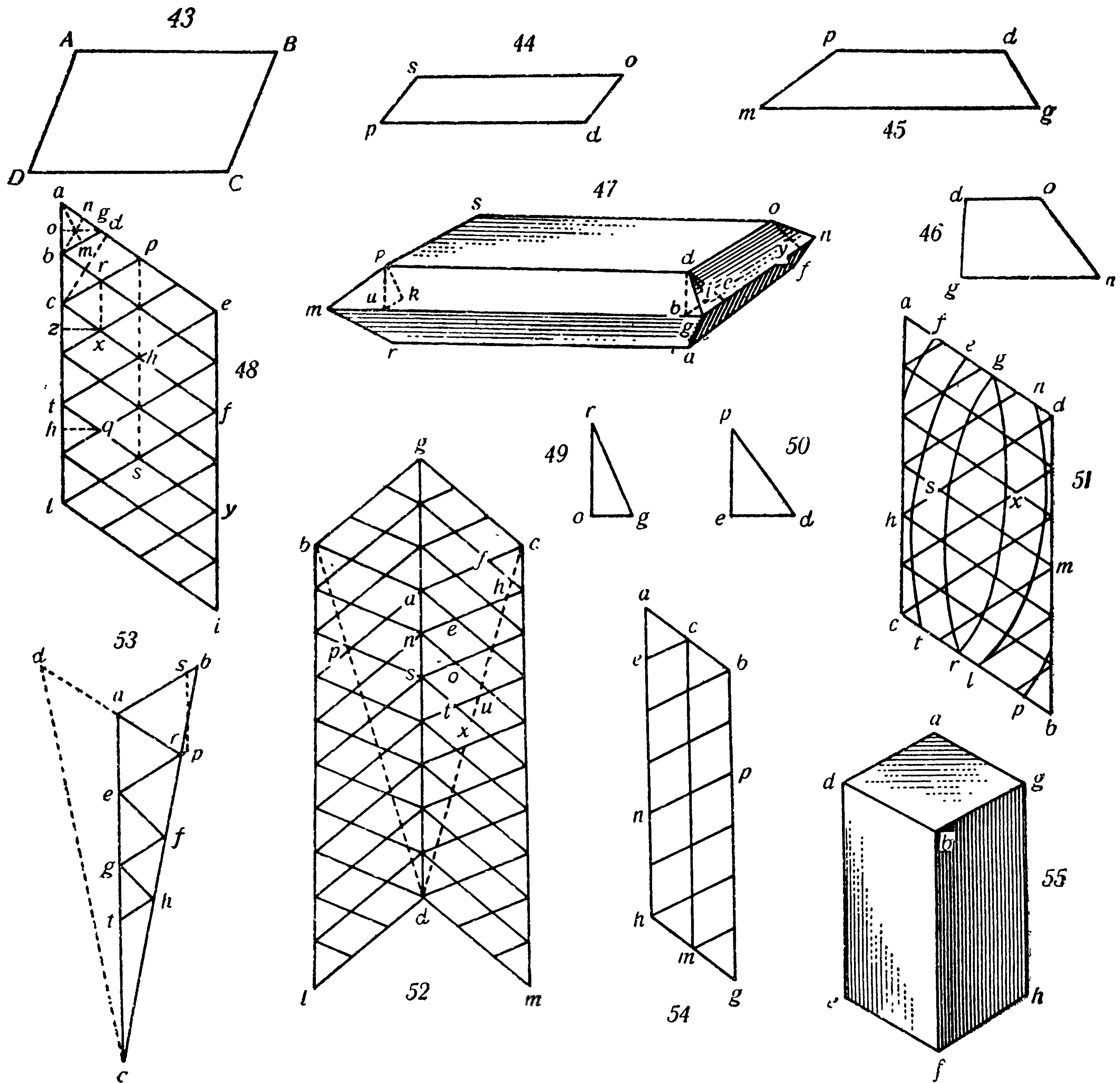


Рис. V.

сторонам. Однако сечения, проходящие параллельно большим косоугольным граням, выражены более четко, чем боковые сечения, которые могут быть сделаны в других направлениях. Что же касается составных моле-

кул, из которых слагаются эти слои, то в дальнейшем выяснится, какие я применил способы для определения истинной формы этих молекул. Такая молекула представляет собой параллелепипед или прямую четырехугольную призму, основания которой являются косоугольными параллелограммами с углами, также равными 113° и 67°. Их стороны относятся друг к другу, как 12 к 13, а их боковые грани являются прямоугольниками, в которых сторона, соответствующая высоте призмы, равна 32.

Вторичная форма

Гипс с десятью гранями [39] (фиг. 47).

Развертка. Два косоугольных параллелограмма *sodp* (фиг. 44). Четыре большие трапеции *pdgm* (фиг. 45). Четыре малые трапеции *dong* (фиг. 46).

Углы параллелограмма: $pso=odp=127°$; $spd=sod=53°$. Углы большой трапеции: $pmg=43°27'$; $dgm=59°28'$; $dpm=136°33'$; $pdg=120°32'$. Углы малой трапеции: $dgn = 84°48'$; $odg = 95°12'$; $don = 127°22'$; $ong=52°38'$.

60. Кристалл, рассматриваемый в этой главе, образует десятигранник (декаэдр). Все другие кристаллы гипса являются его разновидностями. Такие кристаллы обычно находятся в карьерах Монмартра и его окрестностей. Косоугольные параллелограммы, один из которых изображен на фиг. 44, образуют две противоположные грани этого кристалла. Четыре большие трапеции соединены попарно, как это видно из фиг. 47: *pmgd* и *mgar*. Таким образом, их наклон по отношению к ребру *mg* и к противоположному ребру образует в этом месте очень тупой угол. Четыре малые трапеции также соединены попарно с оконечностями кристалла, где они образуют наклон к ребру *gn* и к ребру, которое находится в противоположной части под менее тупым углом.

Данный десятигранник разделяется сначала параллельно его двум ромбоидальным граням. Если предположить, что деление совершается последовательно с двух противоположных сторон, то отделятся слои, имеющие одни и те же углы и нарастающие постепенно до среднего, самого большого слоя.

Что касается составных частей этих слоев, то они примыкают друг к другу настолько тесно, что их невозможно разобщить с такой же легкостью. Для того чтобы заметить маленькие косоугольные параллелограммы, из которых состоят эти слои, следует постучать сверху несколько раз каким-нибудь твердым предметом, тогда обнаружатся линии раздела. Сделав небольшое усилие, стремясь разорвать слой, можно разъединить без труда его составные части. Кроме того, можно поместить такую пластину на горячую лопату и держать до тех пор, пока гипсовое вещество под действием огня не станет совсем белым. Сняв эту пластину, увидим

несколько кусков или маленьких пластин, имеющих первичную форму, которые сами отпали или отслоились друг от друга. Можно получить и еще большее число таких пластин, если осторожно ударить по этому прокаленному слою.

Так как большой угол каждой пластины равен, как я уже указывал, 127°, а маленький угол 53°, то, подразделив один из этих слоев, получим косоугольные параллелограммы, подобные *brpg* (фиг. 48). Они расположены так, что их большие стороны *br*, *gp* выравнены в том же направлении, что и малые стороны *ae*, *li* большого слоя, частью которого они являются. Их маленькие стороны противоположны острым углам того же самого слоя. Если представить себе, что деление доведено до этой точки, где эти параллелограммы образуют грани составных молекул, то придем к выводу, что все треугольные пространства, расположенные вдоль сторон *al*, *ei*, окажутся пустыми из-за удаления равного числа молекул.

Ядро гипса, структуру которого мы рассматриваем, представлено параллелограммом *htsf*, являющимся одним из его оснований.

Каждое из треугольных пространств *agb*, *brc*, очевидно, равно половине каждого из параллелограммов первичной формы. Таким образом, основание *ab* или *bc* треугольника само равно малой диагонали *rx* одного из этих параллелограммов. Угол *bag*, согласно тщательным измерениям, равен приблизительно 53°, а угол *abg* — 60°. Из этих данных следует, что две стороны *bg*, *ag* противоположные: одна — углу 53°, а другая — углу 60°, и относятся друг к другу как синусы этих же самых углов, т. е. как числа 7986 и 8660. Итак, эти числа соотносятся как 12 к $13+$ $+\frac{51}{3993}$. Последняя дробь может быть здесь отброшена, поскольку она не соответствует $\frac{1}{78}$. Так как стороны *bg*, *ag* треугольника *abg* пропорциональны сторонам *th*, *ts* основания *thfs* ядра, то, следовательно, последние относятся друг к другу приблизительно также, как 12 к 13. Следовательно, основания призмы, представляющей составные молекулы гипса, будут иметь форму немного удлиненных ромбов (§ 59).

61. Определим теперь закон убывания для налегающих слоев. Измерение угла, образованного наклоном трапецевидных больших граней кристалла к ребру *mg* (фиг. 47) или к противоположному ребру, даст нам величину 144°. Пусть *rog* (фиг. 49) — измерительный треугольник. Угол *rgo*, равный половине предыдущего угла, будет, следовательно, равен 72°. Кроме того, *ro* отвечает высоте одной из маленьких призм, образующих составные молекулы. Что же касается *og*, то наиболее естественно предположить, что она равна высоте *og* (фиг. 48) одного из треугольных пространств *abg*. В этом случае убывание, о котором здесь идет речь, т. е. то, которое имеет место на краях *al*, *ei*, произойдет за счет снятия одного ряда составных молекул. Действительно, из этого предположения следует, как мы это увидим в дальнейшем, что убывание про-

исходит на краях *ae*, *li* за счет снятия двойного ряда молекул. Это в полной мере соответствует законам убывания, наблюдаемым на других кристаллах.

Боковые срезы на этом кристалле недостаточно ясны (§ 60) для того, чтобы можно было различить, наклонены ли края этих слоев к их большим граням. Однако я все же считаю возможным предположить, что составные молекулы являются прямыми призмами. В самом деле, все кажется совершенно одинаковым на двух противоположных сторонах кристалла, что свидетельствует о наличии в той и в другой части одинаковых законов убывания. Это равенство не могло бы иметь место, если бы указанные маленькие призмы были бы наклонными. В этом случае их края образовали бы с одной стороны острый угол, а с другой — тупой угол с гранями слоев, на которых покоились бы эти призмы своими нижними основаниями. Следовательно, грани кристалла, состоящие из суммы этих же краев, не могли бы образовать с каждой стороны равных углов как между собой, так и с другими частями кристалла. Чтобы вычислить треугольник *org* (фиг. 49), нужно сначала узнать *og*. Рассмотрим эту линию в треугольнике *aog* (фиг. 48). Мы имеем угол *a*, равный 53°, угол *o*, равный 90°, и сторону $ag=8660$ (§ 60). Решив этот треугольник, получим число 38 398 665 для логарифма *og*.

Далее легко вычислить треугольник *org* (фиг. 49) с помощью этого логарифма и углов $g=72°$ и $r=18°$. Найдем для логарифма *or* число 43 280 904, которому соответствует 21 290. Последнее число выражает высоту *or* одной из призм, образуемых составными молекулами. Сравнив эту высоту со стороной *bg* (фиг. 48), выражением которой является 7986 (§ 60), найдем, что отношение одного и другого соответствует 12 к 32 (с точностью до $\frac{1}{100}$, как уже отмечено в § 59).

Перейдем теперь к закону убывания составных слоев со стороны малых граней кристалла. Угол, образуемый с наклоном этих граней друг к другу, будет, как это видно невооруженным глазом, значительно менее тупым, чем угол больших граней. Это говорит о том, что убывание здесь происходит за счет удаления двойного ряда молекул.

Пусть *cpd* (фиг. 50)—измерительный треугольник для данного случая. Прежде всего следует найти величину *cd*. Итак, согласно предполагаемому закону убывания легко увидеть, что *cd* вдвое превышает отрезок линии *bn* (фиг. 48), проведенной перпендикулярно из угла *b* на сторону *ag*.

В треугольнике *bng* мы имеем угол $g=67°$, угол $n=90°$ и $bg=7686$ (§ 60). Решив этот треугольник, получим 38 663 554 для логарифма *bn*. Прибавив к данному логарифму логарифм 2, получим 41 673 854 для логарифма *cd*. Для треугольника *cpd* (фиг. 50) известно, что $cp=or$ (фиг.49), логарифм которого равен 43 280 904. С помощью этого логарифма и логарифма *cd*, и кроме того, учтя, что угол *c* будет прямым, найдем для логарифма тангенса *cdp* число 101 607 050, которое соответствует углу

55°21′. Отсюда следует, что угол искомых граней равен 110°44′. Так как наблюдение дает тот же угол, можно сделать вывод, что предполагаемый нами закон убывания именно тот, которому подчиняется образование данного кристалла.

62. Величина плоских углов этого кристалла легко выводится из предшествующих расчетов. Начнем с величины углов трапеции *pmgd* (фиг. 47). Проведя *pu* перпендикулярно к *mg*, *pk* — перпендикулярно к любой из больших граней слоев наложения и *uk* — также перпендикулярно к *pk*, получим треугольник *puk*, подобный треугольнику *rgo* (фиг. 49). Определив в этом последнем треугольнике сторону *gr*, согласно указанным выше данным (§ 61), найдем его логарифм, равный 43 498 841. Этот же логарифм может также представлять и логарифм *pu* (фиг. 47). Теперь учтем, что с края (фиг. 48) одной из составных пластин убывает только один ряд молекул, между тем как с края *ae* убывает двойной ряд. Тем самым, если *go* или равный ему *xz* измеряет убывание с края *al*, то линия *az* будет выражать величину убывания с этого же края двух рядов молекул, заключенных между линиями *al*, *cf*. Следовательно, величина *az* может представлять величину *mn* (фиг. 47). Итак, $az=ab+bc+cz=2ab+ao$. Чтобы найти *ab*, рассмотрим треугольник *abn*, в котором известны: угол *a* — 53°, угол *n* — 90° и сторона *bn*, логарифм которой равен 38 663 554 (§ 61). При этих условиях логарифм *ab* будет иметь число 39 640 068, соответствующее 9204 — величине *ab*. Следовательно, $ac=18\,408$. Теперь в треугольнике *ago* известен угол *a*, равный 53°, угол *o*, который является прямым, и логарифм $go=38\,398\,665$ (§ 61). Решение этого треугольника дает логарифм *ao*, равный числу 37 169 809, что соответствует 5211 — величине *ao*. Следовательно, $az=18\,408+5211=23\,619$. Эта величина будет также величиной *mu* (фиг. 47), а логарифм ее определим по числу 43 732 616. Решив прямоугольный треугольник *pmu*, согласно предшествующим данным, получим логарифм тангенса *pmu*, равный 99 766 225, что соответствует 43°27′ — величине *pmu*; из чего следует, что $mpd=136°33'$.

Определим также углы *d*, *g* того же четырехугольника. Опустив *db* перпендикулярно к *mg*, получим $\log.db=\log.pu=43\,498\,841$. Поскольку *az* (фиг. 48) представляет величину убывания края *al* на два ряда молекул, заключенных между *ae*, *cf*, линия *lh* или равная ей *tz* будет выражать величину убывания того же края посредством соответствующего убывания двух рядов молекул, заключенных между *li*, *ty*. Следовательно, величина *tz* может представлять величину *bg* (фиг. 47). Итак, $tz=ct-cz=ac-ao=18\,408-5211=13\,197$ — величина, логарифмом которой является 41 204 752; он же, следовательно, будет логарифмом *bg* (фиг. 47). Если решить прямоугольный треугольник *dbg* в соответствии с этими данными, получим для тангенса угла *dgb* число 102 294 089, которое соответствует 59°28′ — величине *dgb*. Отсюда следует, что угол *gdp* равен 120°32′.

Остается только определить углы трапеции *dong*. Пусть *de* и *oy* опущены перпендикулярно к *gn*. Легко убедиться, что величина каждой из этих линий будет представлена величиной *pd* (фиг. 50). Итак, закончив решение треугольника *pcd*, которым мы уже занимались, найдем для логарифма *pd* число 44 127 905, которое будет так же логарифмом *de* или *oy* (фиг. 47).

Также можно определить *dg*. Так как $on=pm$ (фиг. 47), с помощью треугольников *dbg*, *pmu* получим log. dg=44 145 777 и log. on=log. pm=45 124 716. Решив, согласно этим данным, прямоугольные треугольники *dge*, *oyn*, найдем логарифм синуса угла *g*, равный числу 99 982 128, что соответствует 84°48′; и логарифм синуса угла *n*, равный числу 99 003 189, что соответствует 52°38′. Отсюда следует, что угол $d=95°12'$ и угол $o=127°22'$. [29]

63. Параллелограмм *aeil* (фиг. 48), который представляет большие грани слоев десятигранного гипса, подвержен некоторым изменениям формы, вызванным чаще всего отсутствием углов *a* и *i*. Тогда составные пластины могут принять округленные формы, как например *nehtlm* (фиг. 51). В этом случае сама форма кристаллов претерпевает более или менее значительные изменения.

Подобные округления, которые следует рассматривать как своего рода убывания, происходят, несомненно, за счет удаления составных молекул. Если бы эти убывания изменялись в пропорции, необходимой для того, чтобы ординаты кривой находились в постоянном соотношении с абсциссами, можно было бы определить природу такой кривой. Но так как вышеуказанные закругления имеют самую различную кривизну у кристаллов одного и того же рода, то невозможно составить относительно этого какое-либо определенное мнение. Такое закругление следует рассматривать как результат беспорядочной и ускоренной кристаллизации. Единственно, что можно здесь установить — это их связь с четкими и ясно выявленными формами, отдельные признаки которых они обнаруживают в незавершенном и как бы только намеченном состоянии.

При наличии лишь незначительного закругления возле углов *a*, *b* (фиг. 51) косоугольный параллелограмм принимает форму, подобную *fcpd*. В этом случае в направлении каждой из двух вершин кристалла образуется криволинейная поверхность, опирающаяся на две плоские грани в форме трапеции. Это придает вершинам вид двух пирамид с тремя гранями, из которых та, которая является криволинейной, образует в одних случаях хорошо закругленную, а в других едва заметную дугу в зависимости от большей или меньшей закругленности самих слоев

---

[29] Величины этих логарифмов немного меняются в зависимости от исходных данных, согласно которым их можно определить. Однако такие изменения исчисляются десятичными долями и не могут оказать существенного влияния на результаты.

наложения по их малым углам. Кристаллы данной разновидности можно найти на Монмартре.

Вышеуказанные слои, принимая более закругленные очертания, например *ehtlmn* (фиг. 51), дадут формы еще более отклоняющиеся от формы десятигранного кристалла, которые могут видоизменяться самым различным образом, но так, что в каждом случае при внимательном наблюдении можно будет обнаружить следы первичной формы.

Наконец, если все слои имеют постоянно форму, подобную *gsrx* (фиг. 51), состоящую из двух сегментов кривой, соединенных своими хордами, и если эти слои постепенно убывают от середины в ту и в другую сторону, то скопление подобных слоев должно дать в результате чечевицеобразный кристалл. Такой кристалл будет иметь некоторое сходство с кристаллами известкового шпата, имеющими крайне тупые вершины с притупленными углами и краями, но обладающими совершенно иной структурой, чем кристаллы гипса, о которых здесь идет речь.

Все описанные мною разновидности кристаллов способны срастаться в группы. В этом случае кристаллы обычно обращены друг к другу гранями, состоящими из суммы больших краев и слоев.

Известно, что те, которые называются клинообразными, представляют собой не что иное, как части двух чечевицеобразных кристаллов, сросшихся одной из своих поверхностей, которая будет плоской в месте срастания. Случается довольно часто, что срезы этих клинообразных кусков представляют собой приблизительно два разносторонних треугольника. Одного взгляда на фиг. 52 достаточно, чтобы установить соотношение вышеупомянутых треугольников *bad*, *cad* с параллелограммами *bgdl*, *cgdm*, сегментами которых являются эти треугольники. Края *bd*, *cd* данных сегментов имеют всегда тусклый глянец и в некоторых случаях даже усеяны маленькими бугорками. Это свидетельствует об удалении в этих местах маленьких ромбоидальных призм, которые заполняли бы параллелограммы в случае более совершенной кристаллизации.

64. Г-н де ля Гир рассматривал каждый из этих треугольников как скопление частиц, представляющих собой так же разносторонние треугольники, подобные *abr* (фиг. 53). Углы таких треугольников равны 70, 60 и 50°. Как указывает ученый, эти треугольники расположены так, как показано на вышеприведенном рисунке. Иначе говоря, в тех, которые были расположены справа, как например *bar*, угол в 60° не находился в точке *b* и не был диагонально противоположен углу той же величины в треугольнике слева *aer*, как это можно наблюдать в отношении угла *s* треугольника *aps*. Однако угол в точке *b* был самым маленьким из трех углов треугольника *abr* и равным 50°. Таким образом, линия *br* сходилась в одну точку с линией *ae* вместо того, чтобы идти параллельно ей, как *sp*. Эти две линии образовывали при соединении в точке *c* угол в 10°. Все вышеуказанные углы, действительно, имеют с некоторым приближением величины, указанные г-ном де ля Гиром. Его мысль относительно

того, что первоначальные треугольники находятся в перевернутом положении с основанием на линии *bc*, весьма остроумна и на первый взгляд кажется вполне правдоподобной в объяснении структуры рассматриваемых нами обломков гипса. Однако, если сравнить эти обломки с чечевицеобразными кристаллами, частями которых они, очевидно, являлись, и если тщательно проследить за всеми переходами и искажениями формы от одной разновидности к другой, то мы вынуждены будем признать, что гипотеза г-на де ля Гира, будучи крайне любопытной, все же не соответствует действительному положению вещей в Природе. На этом вопросе следует остановиться более подробно.

Пусть *bdca* (фиг. 52) — клинообразный осколок гипса. Выше отмечалось, что этот обломок первоначально являлся частью двух чечевицеобразных кристаллов, примыкающих друг к другу одной из своих граней. Поэтому стороны *bd* будут, действительно, криволинейными, хотя иногда эта кривизна мало заметна.[30] Г-н де ля Гир сам отметил эту кривизну. Если ударить по слою, отделенному от куска надрезом, параллельным одной из его больших граней, то трещины обнаружатся в виде изломанных линий *par*, *psr* и т. д. Угол *par* равен 106°, а угол *psr* 120°. Разделив на 2 каждый из этих углов, чтобы получить углы треугольника *asp* или *asr*, находим, что угол *psa* или *rsa* равен 60°, а угол *pas* или *sar* — 53°. Отсюда следует, что *aps* или *ars* равен 70°, что соответствует данным измерения, произведенным на десятигранном гипсе (§ 60). Эти величины значительно отличаются от тех, которые приведены г-ном де ля Гиром. Применяя еще более точные методы измерения и повторяя операции на большом числе кусков, я всегда получал те же самые результаты, только с некоторыми незначительными отклонениями.

Из изложенного выше следует, что треугольники *bad*, *cad* следует рассматривать как сегменты двух параллелограммов *bgdl*, *gcmd*, соединенные так, как это изображено на рисунке. Сторона *gd*, которой треугольники примыкают друг к другу, является всегда прямой линией. Две другие стороны имеют более или менее значительную кривизну. Следует предположить, что эти стороны представляют собой только сумму внешних углов множества составных молекул, между которыми остаются маленькие треугольные впадины, вызванные убыванием некоторого числа молекул. Данное явление аналогично тому, которое мы могли наблюдать при убывании слоев наложения, но в последнем случае Природа совершает свою работу более равномерно и более правильно.

Таким образом, только в силу случайности треугольники *cfh*, *ntx* и др., находящиеся на криволинейной стороне *cd*, имеют углы, приблизительно равные углам треугольников *aen*, *nos* и т. д. Они представляются частицами, подобными этим треугольникам, но расположенными в обрат-

---

[30] Обычно можно даже заметить легкую кривизну на сторонах *ab*, *ac*.

ном порядке. В сущности, внешние углы треугольников *cfh*, *rou* и т. д. подвержены многочисленным изменениям вследствие кривизны линии *cd*. Эти изменения не ускользнули от внимания г-на де ля Гира, но он рассматривал их как простую игру Природы. Одним словом, ошибочность его теории объясняется тем, что он полагал каждый из внешних треугольников, например *cfh*, первоначально равным половине параллелограмма *enor* первичной формы. В действительности же, этот треугольник представляет собой не что иное, как неправильный сегмент параллелограмма, оказавшийся неполным вследствие отсутствия части молекул, которые должны были способствовать его образованию.

65. В местности Сен-Жермен и в других местах можно найти кристаллы десятигранного гипса, подобные вышеописанным (§ 60), но имеющие обратное (перевернутое) расположение трапеций. Иными словами, те, которые были самыми большими в первой разновидности, будут самыми маленькими в той, которую я здесь рассматриваю, и наоборот.

Встречаются также кристаллы той же разновидности, имеющие только восемь граней. Их можно рассматривать как сплющенные и косые призмы с шестью боковыми сторонами в виде косоугольных параллелограммов и основаниями в виде удлиненных шестиугольников. Для определения структуры такого кристалла нужно предположить, что все большие ромбоидальные слои, из которых он состоит, имеют постоянную длину и убывают только в ширину. Гипс с восьмью гранями служит переходной формой к другим разновидностям. Случается иногда, что треугольник *ace* (фиг. 54) отсутствует в параллелограммах *abgh*, являющихся большими гранями составных слоев. В то же время кристалл оказывается заключенным внутри породы нижним концом. Тогда на вершине образуется дополнительная грань, состоящая из суммы всех краев, подобных *ce*, и две большие грани призмы становятся пятигранниками, подобными *cenpb*.

66. Снова рассмотрим кристалл гипса с восьмью гранями и предположим, что к двум крайним слоям наложения, подобным параллелограмму *abgh* (фиг. 54), иначе говоря, к тем, которые образуют две большие противоположные грани призмы, присоединились новые слои, постоянные по высоте *cm* и убывающие только по ширине до тех пор, пока они не сведутся к простому ребру. В этом случае шестиугольники, завершающие призму, превратятся в ромбы *adbg* (фиг. 55), две большие грани той же призмы исчезнут, а четыре других: *dbfe*, *bghf* и др., увеличиваясь в ширину, образуют боковые стороны призмы косой и четырехугольной. Мне удалось найти такую разновидность среди маленьких кристаллов, расположенных в полости гипсовой жеоды.

Некоторые из них были близки к закругленной форме чечевицеобразных кристаллов и отличались еще другими особенностями, на которых я не буду подробно останавливаться. Иными словами, по-видимому, нет такого минерала, кристаллы которого были бы более подвержены дефор-

мациям, чем гипс. Это позволяет предположить наличие множества случайных причин, нарушающих правильность процесса кристаллизации этого вещества.

Глава VII

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ К КРИСТАЛЛАМ ГРАНАТОВ

67. Кристаллы данного рода отличаются значительной твердостью, и поэтому обычно [31] не представляется возможным произвести на них различные надрезы для отделения слоев, отполированных самой Природой. Тем не менее, руководствуясь теорией, выведенной мною из наблюдений над кристаллами, легко поддающимися делению, а также приняв во внимание признаки кристаллизации, позволяющие судить о положении слоев, я смог придти к наиболее правдоподобному, как мне кажется, объяснению структуры гранатов.

Первичная форма

Додекаэдрический гранат [40] (рис. VI, фиг. 56).

Развертка. Двенадцать ромбов, равных и подобных друг другу.

Тупой угол *acd* или *abd* этих ромбов равен 109°28′16″, а острый угол *bac* или *bdc* — 70°31′44″ (фиг. 57).

68. Предположим, что данный гранат представляет собой как бы соединение четырех ромбоидов, имеющих плоские углы, равные углам ромба *abdc*, и расположенных так, что одна из их тупых вершин находится в центре додекаэдра, а другая вершина остается открытой.[32] Три ромба, образующих в совокупности одну из этих последних вершин, представлены на фиг. 56 в виде ромбов *abdc*, *caon* и *cden*. Следует предположить, что каждый из этих ромбоидов может быть разделен на кубическое число маленьких ромбоидов, равных между собой и подобных тому ромбоиду,

---

[31] Я говорю «обычно», так как мне лично удалось получить в додекаэдрических гранатах чистые и довольно хорошо отполированные срезы, произведенные параллельно их ромбическим граням. Последнее может служить подтверждением теории, изложенной в этой главе. Такие срезы доказывают также, что гранаты не могут иметь такую же структуру и такие же составные молекулы, как додекаэдрические кристаллы, о которых говорилось в § 8. Эти кристаллы и напоминают гранаты, но они довольно часто имеют зеленоватый цвет и их грани покрыты штрихами, которые, как я объяснял выше, свидетельствуют о том, что они состоят из кубических молекул. Итак, эти кристаллы, молекулы которых коренным образом отличаются от молекул гранатов, не могут принадлежать к роду гранатов и, несомненно, обладают совершенно особыми свойствами (см. стр. 29, прим. — сноска 16 — *ред.*).

[32] Такое объяснение структуры гранатов приведено мною в докладе, представленном Академии в конце 1780 года и посвященном данному роду кристаллов.

частью которого они являются. Отсюда следует, что додекаэдрический гранат представляет собой соединение множества этих маленьких кристаллов. Вполне вероятно, что если бы можно было отделить от граната четкие

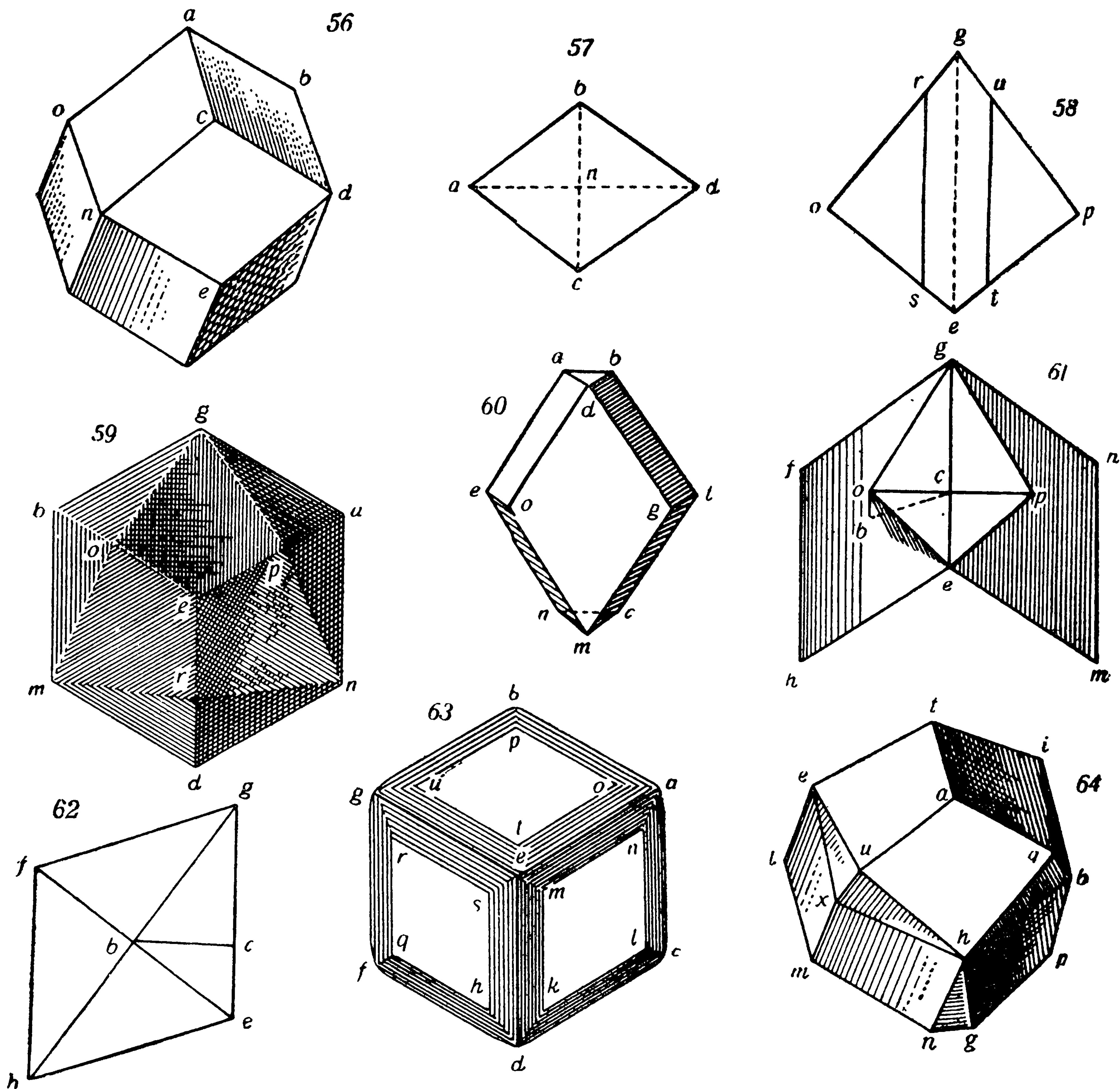


Рис. VI.

и как бы полированные пластинки, то вышеупомянутые маленькие ромбоиды разделились бы еще на твердые тела меньшей величины и другой формы. Последние представляли бы собой тетраэдры, равные и подобные

друг другу. Я пришел к этому выводу исходя из следующих соображений. Прежде всего я отметил в отношении кристаллов, поддающихся делению, что их ядро всегда делится параллельно их различным граням. По аналогии можно заключить, что так же обстояло бы дело и с додекаэдрическим ядром гранатов, если бы оно могло быть подвергнуто механическому делению.[33]

Кроме того, можно найти гранаты такого рода, которые являются неполными, как если бы от них был отделен один слой, посредством сечения, параллельного одной из граней. Слой, отсеченный от таких гранатов, имеет шестиугольную поверхность с четырьмя большими сторонами и двумя малыми. В этом можно убедиться, если представить себе додекаэдрический гранат совершенной формы срезанным так, как я это только что объяснял. Вполне вероятно, что произвести такое же усечение механическим способом было бы возможно, если бы кристалл поддавался разделению.

Итак, допустим, что мы произвели в додекаэдрическом гранате различные сечения, параллельные его двенадцати граням. Легко убедиться в том, что эти сечения разделят маленькие ромбоиды, из которых, как предполагается, состоит додекаэдр, так, что они пройдут по малым диагоналям противоположных граней этих же самых ромбоидов. Разделив ромбоид таким образом, получим шесть равных и подобных тетраэдров, грани которых будут также подобны и равны друг другу. Две из этих граней имеют своими сторонами ось ромбоида, малую диагональ одного из ромбов и сторону смежного ромба в другой части кристалла.[34] Две другие грани представляют собой половины тех же ромбов, если предположить, что последние разделены в направлении их малой диагонали.

Вышеупомянутые тетраэдры представляют собой, как мне кажется, подлинные составные молекулы гранатов. Эта гипотеза подтверждается также тем, что невозможно, не прибегая к ней, объяснить удовлетворительным образом и в соответствии с установленной мною теорией убывание слоев граната при переходе от додекаэдра к форме вторичных кристаллов.

69. Определение плоских углов рассматриваемого нами граната является простой геометрической задачей, которую легко можно решить. Этот кристалл имеет четырнадцать телесных углов, из которых восемь образованы соединением трех плоских углов, а шесть других — соединением четырех плоских углов. Итак, видно, что прямая линия, проведенная из вершины одного из телесных углов, образуемых четырьмя плоскими углами в центре кристалла, представляет собой малую диагональ одного из ромбов, образующих внутренние грани четырех ромбоидов, из которых, как предполагается, состоит этот кристалл. Кроме того, если начертить

[33] Такое разделение может быть иногда осуществлено до определенного предела, как я уже указывал в примечании к § 67.

[34] Если определить путем вычисления величину оси данного ромбоида, то эта ось равна стороне ромба. Из этого следует, что грани тетраэдра представляют собой равнобедренные треугольники, равные и подобные друг другу.

большие диагонали четырех наружных ромбов, вписав додекаэдр в круг, то эти диагонали образуют квадрат. Диагональ такого квадрата, которая неизбежно пройдет через центр кристалла, будет, следовательно, вдвое превышать малую диагональ одного из ромбов додекаэдра.

Из этого следует, что большая диагональ ромба относится к малой как сторона квадрата к половине его большой диагонали, как 1 к $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ или 2 к $\sqrt{2}$. Следовательно, взяв половины двух диагоналей ромба, мы можем приравнять *nd* (фиг. 57) к 2 и *bn* — к $\sqrt{2}$. Прямоугольный треугольник *bnd*, вычисленный соответственно этим величинам, дает тангенс угла *nbd*, равный числу 101 505 150, что соответствует 54°14′8″. Следовательно, угол *abd* = 109°28′16″ и угол *bac* = 70°31′44″.

Вторичные формы

Гранат с двадцатью четырьмя гранями. [41]

Развертка. Двадцать четыре четырехугольника, равных и подобных друг другу, как например *goep* (фиг. 58). Угол *oep*=117°2′8″; *goe*=*gpe*=82°15′3″; *ogp*=78°27′46″.

70. Пусть ромбоидальные слои, подобные тем, которые можно отделить путем сечений параллельных граней додекаэдрического кристалла, сложены одна над другой на этих гранях, равномерно убывая до тех пор, пока они не будут сведены к одной точке. Такое скопление должно привести к образованию двенадцати четырехугольных пирамид, которые будут опираться своими основаниями на грани додекаэдра. Допустим, кроме того, что убывание слоев наложения происходит таким образом, что смежные грани соседних пирамид оказываются расположенными попарно на одной и той же плоскости. Пусть *gane*, *gbme*, *mdne* (фиг. 59) — три ромба додекаэдра; *gep*, *geo* — смежные грани двух соседних пирамид в вторичном кристалле; *pen*, *ren* — две другие грани, также смежные, и т. д. Эти грани при соединении образуют четырехугольники *goep*, *pern* и т. д., в которых *gp*=*go* и *pe*=*eo*. С другой стороны, *pn*=*rn*, *pe*=*re* и т. д.

Так как точка *p* более удалена от острого угла *g*, чем от тупого угла *e*, то *pg* будет больше, чем *pe*, и по тем же основаниям *og* больше, чем *eo*, и т. д. Это подтверждается также и наблюдением. Двенадцать пирамид, налагаемых на ядро, дают сорок восемь треугольников. Разделив это число на два, вследствие совпадения плоскостей смежных граней, получим двадцать четыре четырехугольника для общего числа граней вторичного кристалла.

Если тщательно рассмотреть вышеуказанные четырехугольники, то можно заметить штрихи, параллельные большим диагоналям *ge*, *en*, *em* этих четырехугольников. Подобные штрихи покрывают места стыков

слоев наложения и направление, в котором они наложены один на другой.[35]

Рассмотрим теперь более подробно структуру одного из таких слоев. Верхняя грань этого слоя представляет собой ромб *domg* (фиг. 60), подобный тем, которые образуют грани ядра. Нижняя грань слоя представляет собой шестиугольник *ablcne*, в котором стороны *ab*, *cn* недоступны для обозрения, поскольку нужно предполагать, что слой имеет бесконечно малую толщину. Краевых граней слоя шесть. Две из них треугольники *adb* и *nmc*, расположенные перпендикулярно относительно двух больших граней. Четыре другие краевые грани представляют собой косоугольные удлиненные параллелограммы *dblg*, *glcm* и т. д. Плоскости их наклонены под тупым углом, равным углу ромба *domg*.

Представим себе теперь два сечения, сделанных одно на *dg*, другое на *gm*, параллельно краям *adoe*, *eomn* (эти сечения возможно произвести в соответствии с подразделениями, намеченными в кристалле). Тогда слой окажется разделенным на ромбоидальный слой с попарно параллельными противоположными краями, который будет состоять из маленьких ромбоидов, подобных тем, о которых говорилось выше (§ 68). Кроме того, в состав слоя будет входить и некоторый остаток. Разделенный сечениями, параллельными плоскостям треугольников *abd*, *mnc*, этот остаток даст полуромбоиды, состоящие каждый из трех тетраэдров, подобных тем, которые мы определили выше как интегрирующие молекулы граната (§ 68). Итак, поскольку ромбоиды, составляющие смежный ромбоидальный слой, могут быть разделены каждый на шесть тетраэдров одинаковой формы, то из этого следует, что весь слой *ablcme* представляет собой скопление тех же самых тетраэдров.

Кроме того, внимательное наблюдение показывает, что одному ряду ромбоидов соответствует два ряда тетраэдров. В результате, рассматривая убывания налегающих слоев относительно краев *adoe*, *eomn*, путем рассуждения, подобного вышеизложенному (§ 15), можно придти к выводу, что убывание происходит на этих краях за счет одного простого ряда ромбоидов или, что то же самое, за счет двух рядов тетраэдров. При этом смежные грани соседних пирамид должны образовывать одну плоскость. Отсюда следует, что убывание будет происходить на противоположных гранях *dblg*, *glcm* также за счет двух рядов тетраэдров. Однако, хотя один ряд ромбоидов соответствует, как я уже указывал, двойному ряду тетраэдров, из этого нельзя заключить, что слой, представленный на фиг. 60, может состоять исключительно из ромбоидов. Каким бы способом не подразделять этот слой с тем, чтобы отделить от него целые ромбоиды, всегда найдется остаток, состоящий только из тетраэдров.

---

[35] Мне удалось даже разделить вулканические гранаты из Помпеи и получить чистые срезы, показывающие тот способ наложения слоев, который я только что объяснил.

Если предположить, что части, отрезаемые сечениями, сделанными на *dg*, *gm* (как я уже объяснял выше), бесконечно малы и являются остатками от ромбоидальных слоев, к которым они примыкают, то в этом случае все ребра *mg*, *gd* и других налегающих слоев также находились бы на одном уровне с ребрами слоев, образующих соседние треугольные тела. Весь кристалл состоял бы тогда из простых ромбоидов. Но в этом случае края налегающих слоев образовывали бы с одной стороны тупой угол, а с другой стороны острый угол с поверхностями слоев, расположенных непосредственно под ними. Было бы более естественно предположить, что этот острый угол состоит из тетраэдров, так как при таком расположении устанавливается полная симметрия между соответствующими частями кристалла.

Еще один довод может послужить здесь для подтверждения всего сказанного мною (§ 68) относительно закона убывания ядра, состоящего из молекул тетраэдрической формы. Как я уже указывал (примечание к § 70 — сноска 35 — *ред.*), гранат с двадцатью четырьмя гранями бывает иногда достаточно мягким, чтобы его можно было разделить режущим инструментом. В этом случае он делится на сечения, проходящие между большими гранями слоев наложения. Наблюдения над кристаллами, поддающимися делению, показали, что начатое деление может быть продолжено в том же направлении, от поверхности к центру кристалла. Отсюда следует, что поскольку все предполагаемые деления в гранате с двадцатью четырьмя гранями должны быть параллельны граням ядра, последнее также может быть подразделено параллельно этим граням. В результате этого получаются тетраэдрические молекулы так же, как и в случае, описанном выше.[36] Можно было бы возразить, что предшествующее объяснение противоречит положениям, которые я выдвигал выше (§ 15). В том случае, когда смежные грани находятся в одной плоскости, убывание происходит соответственно самому простому и самому точному закону, требующему удаления только одного ряда молекул. Между тем, здесь имеет место убывание двух рядов тетраэдров. Однако легко понять, что в случае убывания только одного ряда молекул смежные грани, состоящие из суммы ребер слоев наложения, образовали бы между собой входящие углы. По-видимому, первичные законы кристаллизации исключают возможность появления входящего угла в кристаллах, поскольку нам неизвестно кристаллическое вещество, в котором соседние грани образовывали бы между собой углы такого рода. Исключение составляют лишь минералы, состоящие из двух половин кристалла, случайно соединенных и повернутых в противоположные стороны, как это удалось обнаружить г-ну Деместу в некоторых разновидностях гипса. Исходя из этого, можно утверждать, что если вышеуказанный закон и не является

[36] Ниже будет показано (§ 74), что цинковая обманка подразделяется в точности таким же образом, образуя очень ясные сечения.

сам по себе простейшим из всех тех, которые можно себе представить, то во всяком случае он отличается наибольшей простотой среди всех предполагаемых законов, управляющих кристаллизацией.

71. Теперь остается определить путем вычисления величину плоских углов граната с двадцатью четырьмя гранями. Пусть *gfhe*, *gnme* (фиг. 61) — две смежные грани ядра; *goep* — одна из четырехугольных граней вторичного кристалла. Если провести из точки *o* перпендикуляр на плоскость ромба *gfhe*, то эта линия попадет в центр *b* этого ромба. Проведем еще диагонали *ge*, *op* четырехугольника и линию *cb*, которая будет перпендикулярна к *ge*. Исходя из этих данных видно, что, поскольку два ромба *gfhe*, *gnme* могут быть рассмотрены как две грани правильной шестиугольной призмы, угол, образуемый этими двумя гранями между собой, будет равен 120°. Следовательно, угол *ocb*, представляющий половину дополнения этого угла, будет равен 30°. Итак, $cob = 60°$; следовательно, $\overline{co}^2 = \overline{cb}^2 + \overline{bo}^2 = \overline{cb}^2 + \frac{1}{4}\overline{co}^2$. Отсюда получаем $\frac{3}{4}\overline{co}^2 = \overline{cb}^2$.

Далее, в прямоугольном треугольнике *gbe* (фиг. 62)[37] линия *bc* — перпендикуляр, опущенный из прямого угла на гипотенузу. Кроме того, $gb = \sqrt{4}$ (§ 69); $be = \sqrt{2}$ и $ge = \sqrt{6}$. Следовательно, $cg = \frac{\overline{gb}^2}{ge} = \frac{4}{\sqrt{6}}$ и $ce = \frac{\overline{be}^2}{ge} = \frac{2}{\sqrt{6}}$. Итак, $cb^2 = gc \times ce = \frac{4 \times 2}{\sqrt{6} \times \sqrt{6}} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3}$. Подставив в уравнение $\frac{3}{4}\overline{co}^2 = \overline{cb}^2$, получим $\frac{3}{4}\overline{co}^2 = \frac{4}{3}$. Отсюда следует, что $\overline{co}^2 = \frac{16}{9}$ и $co = \frac{4}{3}$. В треугольнике *cog* (фиг. 61) нам, следовательно, известно, что $co = \frac{4}{3}$; $cg = \frac{4}{\sqrt{6}}$ и угол $c = 90°$.

Итак, $r : \text{tang. } g : : cg : co : : \frac{4}{\sqrt{6}} : \frac{4}{3} : : 3 : \sqrt{6}$. Результат вычисления даст для тангенса угла *g* число 99 119 543, которому соответствует 39°13′53″. Следовательно, угол $pgo = 78°27'46''$.

Теперь, в треугольнике *ceo* мы имеем $co = \frac{4}{3}$, $ce = \frac{2}{\sqrt{6}}$ и угол $c = 90°$. Вместе с тем, $r : \text{tang. } e : : ce : co : : \frac{2}{\sqrt{6}} : \frac{4}{3} : : 3 : \sqrt{24}$. Соответственно этой пропорции можно найти величину тангенса угла *e*, равную 102 129 843, что соответствует 58°31′4″. Следовательно, угол $oep = 117°2'8''$. Отсюда следует, что каждый из углов *goe*, *gpe* равен 82°15′3″.

---

[37] Ромб *gfhe* здесь тот же, что и ромб на фиг. 61.

Гранат с тридцатью шестью гранями [42]

Развертка. Двенадцать ромбов *abdc* (фиг. 57), подобных ромбам додекаэдрического кристалла (§ 68). Двадцать четыре удлиненных шестиугольника *grsetu* (фиг. 58). Угол $rgu=78°27'46''$; $set=117°2'8''$; *grs* или $gut=140°46'7''$; *esr* или $etu=121°28'56''$.

72. Допустим, что скопление убывающих слоев, которое образовало предыдущую разновидность, было вдруг приостановлено на некоторой высоте, в результате чего на двенадцати гранях ядра вместо целых пирамид получились только зарождающиеся пирамиды. Тогда верхние грани всех крайних слоев дадут двенадцать ромбов *upot*, *mnlk*, *rshg* и т. д. (фиг. 63). Они подобны ромбам *abge*, *gfde* и т. д., которые образовывали грани ядра, но имеют меньшую величину. Вместо четырехугольника *goep*, *pnre* и т. д. (фиг. 59) мы получим двадцать четыре удлиненных шестиугольника *grsetu*, *aotemn* и т. д. (фиг. 63). Они расположены между двенадцатью ромбами, что в совокупности образует тридцать шесть граней. Из этого объяснения следует, что форма граната, о котором здесь идет речь, является промежуточной между формой додекаэдрического граната и формой граната с двадцатью четырьмя гранями.

73. Плоские углы шестиугольников можно легко определить, начертив один из четырехугольников *goep* (фиг. 58) граната с двадцатью четырьмя гранями и проведя диагональ *ge* и линии *rs*, *ut*, параллельные *ge*. На равном расстоянии от линии *ge* получим шестиугольник *grsetu*, углы которого будут равны углам шестиугольника граната с тридцатью шестью гранями. Выше мы уже определили (§ 71), что угол *rgu* равен $78°27'46''$, а угол $set=117°2'8''$. Кроме того, видно, что углы *drs* или *gut*, с одной стороны, *esr* или *etu*, с другой, являются дополнениями углов *rge* и *ges*. Отсюда следует, что $grs=gut=180°-(39°13'53'')=140°46'7''$ и $esr=etu=180°-(58°31'4'')=121°28'56''$.[38]

[38] Додекаэдрический гранат может представить для геометрии пример приложения исчисления максимумов и минимумов. С помощью этого исчисления я нашел, какая именно из телесных фигур с двенадцатью ромбическими гранями имеет при условии равенства объемов наименьшую поверхность. Оказалось, что грани такой телесной фигуры являются равными и подобными между собой ромбами, в которых отношения обеих диагоналей равно $1:\sqrt{\frac{1}{2}}$, как это и было показано выше. Тем самым телесная фигура, о которой идет речь, в точности соответствует додекаэдру граната. Эта задача имеет близкое отношение к другой, решавшейся несколькими авторами, в которой определяется телесный угол при вершине пчелиной ячейки, образующей минимум поверхности. Телесная фигура, образуемая такой ячейкой, имеет в основании правильный шестиугольник, боковые ее грани являются трапециями, а вершина образована тремя ромбами. В решениях этой задачи, которые мне довелось видеть, заставляют варьировать по величине только большую диагональ ромбов при вершине. Таким образом, получают минимум поверхности лишь по отношению к этой вершине. Если бы задаться целью решить эту задачу во всем ее объеме, следовало бы изменять также и высоту призмы, образованной боковыми трапециями. Тогда мы нашли бы, что для получения максимальной поверхности надо взять половину додекаэдра, подобного додекаэдру граната, разрезанного перпендикулярно его оси. Высота пчелиной ячейки

Приложение к предыдущей главе

74. Несмотря на то, что в мои задачи настоящего «Опыта» не входило рассмотрение металлических веществ, я считаю все же необходимым сообщить здесь результаты наблюдений, сделанных над цинковой обманкой, структура которой совершенно подобна структуре гранатов. Известны, например, кристаллы цинковой обманки с двадцатью четырьмя гранями, из которых двенадцать являются трапециями, как например *ateu*, *atiq*, *auhq* и т. д. (фиг. 64), а двенадцать других — удлиненными равнобедренными треугольниками *hux*, *eux* и т. д. Последние соединены попарно своими основаниями и заключены между четырехугольниками так, как это показано на рисунке. Я разрезал довольно большое количество таких кристаллов посредством очень четких сечений, параллельных двенадцати четырехугольникам. При этом двенадцать равнобедренных треугольников мало-помалу начинают исчезать. Когда они окончательно исчезнут, телесная фигура принимает форму додекаэдра с плоскими ромбами, т. е. точно такую форму, какую имеет гранат (фиг. 56). Когда эти додекаэдры были извлечены из красноватой обманки, они до такой степени напоминали гранаты, что можно было ошибиться, если бы не различие в блеске, который у обманки значительно ярче.

Если продолжить деление этих додекаэдров параллельно их граням, то, в конечном итоге, получатся неправильные тетраэдры с равнобедренными треугольными гранями, подобные тем, которые были описаны выше (§ 68). Следовательно, представляется вполне вероятным, что молекулы обманки имеют такую же форму, как и молекулы граната.[39] Вышеупомянутые тетраэдры, соединенные различным образом соответственно законам кристаллизации, изложенным в этом трактате, дадут новые тетраэдры с равносторонними гранями, правильные октаэдры, косоугольные параллелепипеды и другие полиэдры разнообразной фомы, описанные рядом авторов и в особенности ученым И. Борном в его сочинении «Минералогический кабинет» (Lithophylacium) — I часть, стр. 132 и далее.

Глава VIII

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ К ТОПАЗАМ БРАЗИЛИИ И САКСОНИИ

75. Два топаза, рассматриваемые в настоящей главе, представляют собой два рода камней, отличающихся друг от друга многими существенными свойствами и в особенности цветом. Г-н Добантон весьма искусно

значительно превышает высоту такой фигуры. Однако именно такие размеры и нужны для ячеек, в которых не только хранится мед, но и живут молодые пчелы, находящиеся в ячейках до своего окончательного развития. См. M. Maraldi. Mémoires de l'Académie des Sciences, 1712. Observations sur les Abeilles.

[39] См. о сходстве молекул в кристаллах различной природы (Введение, стр. 20).

воспользовался последней особенностью топазов для градуировки цвета различных кристаллов драгоценных камней соответственно цветам, наблюдающимся в солнечном спектре, вызванном преломлением лучей призмой Ньютона.[40] При такой градуировке саксонский топаз соответствует простому желтому цвету, а бразильский топаз — смеси желтого с оранжевым. Тем не менее я счел необходимым рассматривать здесь оба эти топаза вместе, так как они сложены из составных молекул, сходных друг с другом. Несмотря на то, что на первый взгляд они и кажутся различными даже в отношении их внешней формы, путем внимательного изучения структуры кристаллов этих камней мне удалось установить их происхождение от одной и той же первичной формы. Эта первичная форма, однако, менее четко выделяется в саксонском топазе и как бы замаскирована там многочисленными дополнительными гранями.

Насколько мне известно, еще никому не удалось видеть первичную форму данных кристаллов в изолированном виде. Такая форма, как следует из дальнейшего, должна представлять собой четырехугольную призму с боковыми сторонами в виде прямоугольников и с двумя основаниями в виде ромбов с углами, равными приблизительно 124°30′ и 55° 30′. Вышеупомянутая форма существует частично в обоих топазах. В действительности же бразильский топаз обычно встречается в виде только что описанной призмы, но увенчанной пирамидой; саксонский топаз завершается часто двумя горизонтальными гранями, но, помимо того, что здесь имеется начало пирамиды, призма имеет восемь боковых сторон, не равных друг другу.

76. Что же касается составных молекул топазов, то они представляют собой также прямые призмы с основаниями, подобными основаниям кристалла первоначальной формы. Высота этих призм будет средней пропорциональной между большой диагональю ромбов основания и линией, вдвое превышающей ширину тех же самых ромбов. Это я и постараюсь доказать в ходе дальнейших рассуждений.

Бразильский топаз. Вторичные формы

Бразильский топаз в виде прямой ромбической призмы, завершающейся одной, иногда двумя пирамидами с четырьмя треугольными гранями [43] (рис. VII, фиг. 65).

Р а з в е р т к а. Четыре прямоугольника, удлиненных и равных между собой *boht*, *sohg* и т. д., образуют боковые грани призмы.

Четыре разносторонних треугольника *abo* (фиг. 65 и 66), образующих грани пирамид. Угол *abo*=37°11′; *aob*=69°55′; *bao*=72°54′.

77. Сложение этого топаза, так же как и у саксонского, листоватое. Слои, отделяющиеся от него, расположены параллельно основаниям

[40] Mém. de l'Académie des Sciences, 1740.

призмы и имеют гладкие и блестящие большие грани. При дальнейшем делении этих слоев удается получить только неправильные обломки, по-видимому, оттого, что боковые стороны молекул обладают значительно

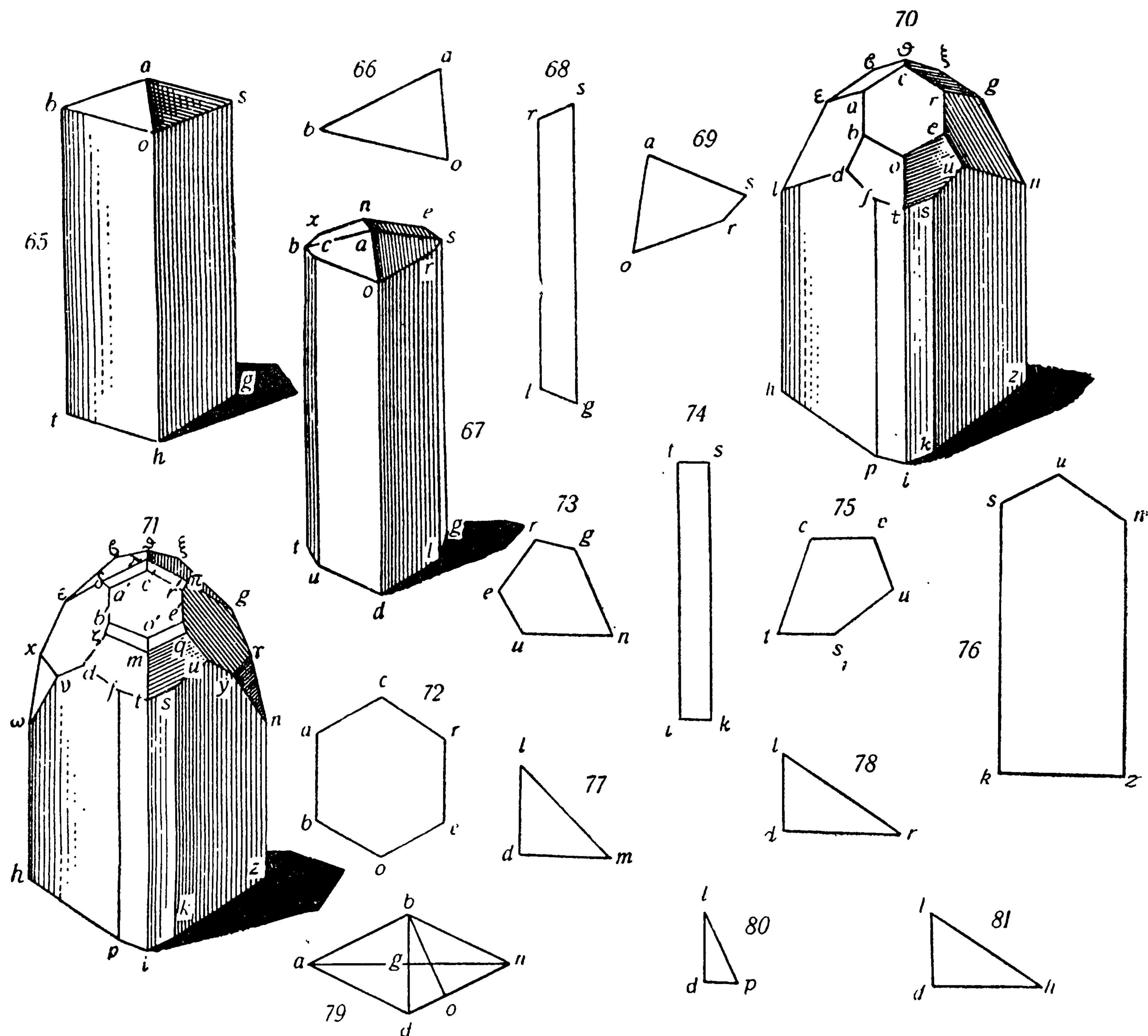


Рис. VII.

большей протяженностью, чем основания, и вследствие этого более тесно сцеплены друг с другом. [41] Тем не менее, не представляет сомнений, как мне кажется, то, что вышеупомянутые слои являются скоплением малень-

[41] См. примечание на стр. 25 (сноска 14 — *ред.*).

ких прямых призм, боковые стороны которых параллельны сторонам целой призмы. Этот вывод, естественно, вытекает из аналогии с другими кристаллами. Кроме того, как мы увидим в дальнейшем, результаты расчетов, сделанных согласно этой гипотезе, совпадают с данными наблюдения.

Что же касается пирамид, завершающих призму, то они образовались вследствие убывания налегающих слоев в соответствии с законом, который будет определен ниже. Призма топаза почти всегда покрыта неправильными бороздками, идущими в направлении ее высоты. Это позволяет предполагать неравные и перемежающиеся убывания различных продольных нитей составных молекул. Здесь уже не в первый раз мне удалось наблюдать, как налегающие слои кристалла следуют, отступая на первичных гранях. Между прочим, я видел, как ромбоиды известкового шпата, подобные исландскому шпату, имели грани, испещренные бороздками в направлениях, параллельных ребрам ромбоида.

Бразильский топаз в виде прямой призмы с восьмью гранями, завершающийся одной или двумя пирамидами с четырьмя четырехугольными гранями [44] (фиг. 67).

Р а з в е р т к а. Четыре удлиненных прямоугольника *codu*, *odlr* и т. д. образуют четыре боковые грани призмы. Четыре трапеции *rsgl*, *cbtu* (фиг. 67 и 68) образуют четыре другие грани призмы. Четыре неправильных четырехугольника *aors* и т. д. (фиг. 67 и 69), которые образуют грани пирамид.

Углы трапеций: $srl=glr=108°23'$; $rsg=lgs=71°37'$. Углы четырехугольников: $oas=72°54'$; $aor=69°55'$; $asr=63°7'$; $ors=154°4'$.

78. Довольно часто случается, что убывание молекул, образующих штрихи или бороздки, например на призме бразильского топаза, происходит правильно, согласно закону, который будет определен в дальнейшем. В этом случае призма имеет восемь граней. Четыре из них — прямоугольники, соединенные попарно на ребре *od* (фиг. 67) и на соответствующем ребре, находящемся на противоположной стороне. Эти прямоугольники, очевидно, являются остатками граней первоначальной призмы. Четыре другие грани образуют, как мы уже видели, трапеции, заходящие за конечные пирамиды. Таким образом, грани последних, бывшие треугольными в первой разновидности, становятся в данном случае четырехугольниками, подобными тем, которые были описаны выше. Эти грани значительно лучше выявлены в призме саксонского топаза. Кроме того, последний дает большее, чем бразильский топаз, число данных для определения закона убывания слоев и высоты составных молекул. Поэтому я считаю уместным перенести в следующую главу (ниже — *ред.*) все, что касается этих особенностей, являющихся общими для обоих топазов, за исключением некоторых дополнительных видоизменений, обнаруживаемых в саксонском топазе.

Саксонский топаз. Вторичная форма

Топаз в виде призмы с восьмью гранями, завершающейся одной или двумя неполными пирамидами с шестью гранями [[45]] (фиг. 70). [42]

Развертка. Четыре узких прямоугольника *tski*, *tfpi* и т. д. (фиг. 70 и 74), которые представляют собой остатки первичных граней призмы, как это имело место в бразильском топазе с восьмиугольной призмой. Четыре неправильных пятиугольника *sunzk* (фиг. 70 и 76), образующих четыре широкие боковые грани призмы. Шестиугольник немного неправильный *aboerc* (фиг. 70 и 72), притупляющий вершину пирамиды. Два пятиугольника *eungr* (фиг. 70 и 73) с боковыми сторонами, попарно равными друг другу, и с вершиной *n*, расположенной на ребре *nz*, соединяющем широкие боковые грани призмы. Четыре других пятиугольника более неправильной формы *bdfto*, *otsue* и т. д. (фиг. 70 и 75), которые образуют четыре другие грани неполной пирамиды и соответствуют каждый узкой боковой грани призмы и одной части соседней широкой боковой грани.

Углы пятиугольников *sunzk* (фиг. 76): $usk=108°23'$; $unz=123°34'$; $sun=128°3'$; $skz=nzk=90°$. Углы шестиугольника *aboerc* (фиг. 72): $boe=acr=124°26'$; $oer=erc=cab=abo=117°47'$. Углы пятиугольника *eungr* (фиг. 73): $reu=erg=110°44'$; $eun=rgn=122°6'$; $ung=74°20'$. Углы пятиугольника *otsue* (фиг. 75): $eot=110°5'$; $oeu=115°30'$; $eus=90°26'$; $ust=154°4'$; $ots=69°55'$.

79. Такова форма, которую обычно принимает саксонский топаз. Однако эта форма подвержена многим изменениям, причем наибольший интерес с точки зрения изучения структуры представляют изменения, вызванные наличием новых граней, удваивающих число боковых граней неполной пирамиды, вследствие чего эти грани изменяют угол наклона и поднимаются в виде ребер, параллельных соответствующей стороне конечного шестиугольника (фиг. 71). При этом новом расположении пятиугольники *bdfto*, *otsue* (фиг. 70) превращаются в пятиугольники $\zeta dftm$, *qustm* (фиг. 71) и их верхняя часть заменяется дополнительной гранью $b'\zeta mo'$ или $o'mqe'$.

Фигура других пятиугольников, например *eungr* (фиг. 70), также видоизменяется, причем то, что остается от их поверхности, имеет форму восьмиугольника $e'quy\gamma g\pi r'$ (фиг. 71). Что же касается их нижней части, то она заменяется равнобедренным треугольником $\gamma n'y$. Фигура пятиугольных граней *sunzk* (фиг. 70) призмы также соответственно изменяется и становится шестиугольником $suyn'zk$ (фиг. 71). В этом случае мы имеем тридцать граней пирамиды, помимо восьми обычных граней призмы.

---

[42] В этом параграфе я предполагаю, что в призме присутствует только ее верхняя оконечность в виде пирамиды. Нижняя — почти всегда скрыта в породе.

Эти различные грани могут и дальше подвергаться изменениям в соответствии с положениями, занимаемыми ребрами *ζm*, *mq*, *yx* и т. д.

80. Тщательно измерив как я указывал выше [43] углы наклона граней видоизмененной пирамиды по отношению друг к другу и к боковым граням призмы, я нашел угол, образуемый пятиугольной гранью *mqust* (фиг. 71) с прямоугольной гранью *tski* призмы, приблизительно равный углу, образуемому восьмиугольной гранью *e′quyγgπr′* с крайним шестиугольником *a′b′o′e′r′c′*. Кроме того, каждый из этих двух углов равен приблизительно 136°.

На основании этих данных можно допустить единственную гипотезу, в которой результаты расчета соответствуют другим наблюдениям над кристаллом. Эта гипотеза предполагает убывание одного простого ряда молекул для треугольной грани *yn′γ*; убывание двух рядов молекул— для восьмиугольной смежной грани *e′quyγgπr′*; также двух рядов — для пятиугольной грани *qustm*; и, наконец, трех рядов для смежной четырехугольной грани *o′mqe′*.

Однако, прежде чем перейти к результатам, к которым приводят эти различные предположения, нужно определить высоту призматических составных молекул.

81. Пусть *ldm* (фиг. 77) — измерительный треугольник по отношению к убыванию слоев, образующих грань *mqust* (фиг. 71), и *ldh* (фиг. 81) — измерительный треугольник для восьмиугольной грани *e′quyγgπr′* (фиг. 71). Если считать линию *ld* высотой одной из вышеуказанных маленьких призм, то соответственно данным, приведенным выше (§ 80), получим, что угол $dlm=44°$ (фиг. 77) и угол $lmd=46°$. [44] Также получим угол $dlh=46°$ (фиг. 81) и $lhd=44°$. Следовательно, треугольники *dlm*, *dlh* — подобны друг другу, что дает $dm : dl :: dl : dh$.

Пусть *abnd* (фиг. 79) — площадь основания одной из составных молекул топаза. Проведя перпендикуляр *bo* на сторону *dn*, вследствие убывания двух рядов предположительно получим $dm=2\ bo$ (фиг. 77 и 79) и $dh=an$ (фиг. 79 и 81) в силу того же закона убывания, который имеет здесь место по отношению к углам составных слоев.

Из пропорции $dm : dl :: dl : dh$ получим $2bo : dl :: dl : an$. Иными словами, высота *dl* (фиг. 77) одной из призматических молекул есть средняя пропорциональная между вдвое взятой шириной *bo* (фиг. 79) основания и большой диагональю *an* того же основания. Это соотношение отмечалось выше (§ 76).

---

[43] Я измерил эти наклоны на прекрасном аквамарине [[46]] значительной величины, хранящемся в королевском кабинете. Известно, что форма кристалла этого драгоценного камня совершенно сходна с формой саксонского топаза.

[44] Поскольку основания налегающих слоев расположены перпендикулярно боковым граням призмы, то, очевидно, *dm* также перпендикулярна одной из этих граней и, следовательно, $lmd=136°-90°=46°$.

Определим теперь величину углов bnd, abn рассматриваемого основания. Пропорция $2\ bo : dl :: dl : an$ дает an или $2\ gn = \frac{(dl)^2}{2bo}$. Кроме того, $bo \times dn = gn \times bd = gn \times 2dg$. Отсюда получаем $dg = \frac{bo \times dn}{2\ gn}$. Подставив вместо $2gn$ ее величину $\frac{(dl)^2}{2\,bo}$, получим $dg = \frac{2\,(bo)^2 \times dn}{(dl)^2}$. Итак, соответственно приведенным выше величинам получим

$$\frac{2\,(bo)^2 \times dn}{(dl)^2} = \frac{\sin(44°)^2 \times r}{2 \cdot \sin(46°)^2},$$

где dn — радиус r. Следовательно,

$$\log.\sin \cdot dng = 2 \log.\sin \cdot 44° + \log.r - 2 \log.\sin \cdot 46° - \log.2 =$$
$$= 96\,686\,444.$$

Это число соответствует 27°47′. Следовательно, bnd=55°34′ и adn= =124°26′. Последняя величина полностью совпадает с данными измерениями относительного наклона боковых граней $tfpi$, $tski$ (фиг. 70), которые являются, как я уже указывал выше, остатками первичных граней призмы саксонского топаза. Пусть теперь ldp (фиг. 80) представляет измерительный треугольник, дающий понятие о законе убывания относительно треугольной грани $yn'\gamma$ (фиг. 71). Если предположить, что это убывание происходит за счет одного простого ряда молекул, то получим $dp = gn$ (фиг. 79). Выше было показано, что $gn = \frac{(dl)^2}{4\,bo} = \frac{\sin(46°)^2}{2 \sin 44°}$ и log. gn или log. dp=2log. sin 46°—log. sin 44°—log. 2=95 710 669. Кроме того, учтя, что мы приняли за величину dl синус 46°, получим log. dl=98 569 341. Если решить треугольник ldp согласно этим данным, то найдем для логарифма тангенса lp число 97 141 328. Это соответствует 27°21′. Отсюда следует, что угол, образуемый вышеупомянутой гранью с конечным шестиугольником, равен 90°+27°22′=117°22′. Последняя величина подтверждается также наблюдением. Что касается убывания относительно граней $o'e'qm$ (фиг. 71), то оно происходит, как я уже указывал (§ 80), посредством снятия трех рядов молекул. Иначе говоря, в измерительном треугольнике ldr (фиг. 78), помимо log. dl=98 569 341, мы имеем log. dr= =log.bo+log. 3=log.sin 44°—log.^{2}+log.3=100 178 626.[45] Это дает для логарифма тангенса угла l число 101 609 285, соответствующее 55°22′. Исходя из того находим, что угол, образуемый этой гранью с шестиугольником, завершающим кристалл, равен 145°22′, что подтверждается и измерениями, произведенными на самом кристалле.

Это — первый пример убывания трех рядов молекул, который мне встретился при изучении структуры столь большого числа кристаллов.

---

[45] Выше было получено 2 bo=dm=sin 44°, отсюда log. bo=log. sin 44°—log. 2.

Отсюда можно сделать вывод, что подобные примеры будут встречаться нечасто, поэтому в дальнейшем следует их рассматривать как своего рода исключения из обычного закона, согласно которому убывания происходят за счет одного или двух рядов молекул.

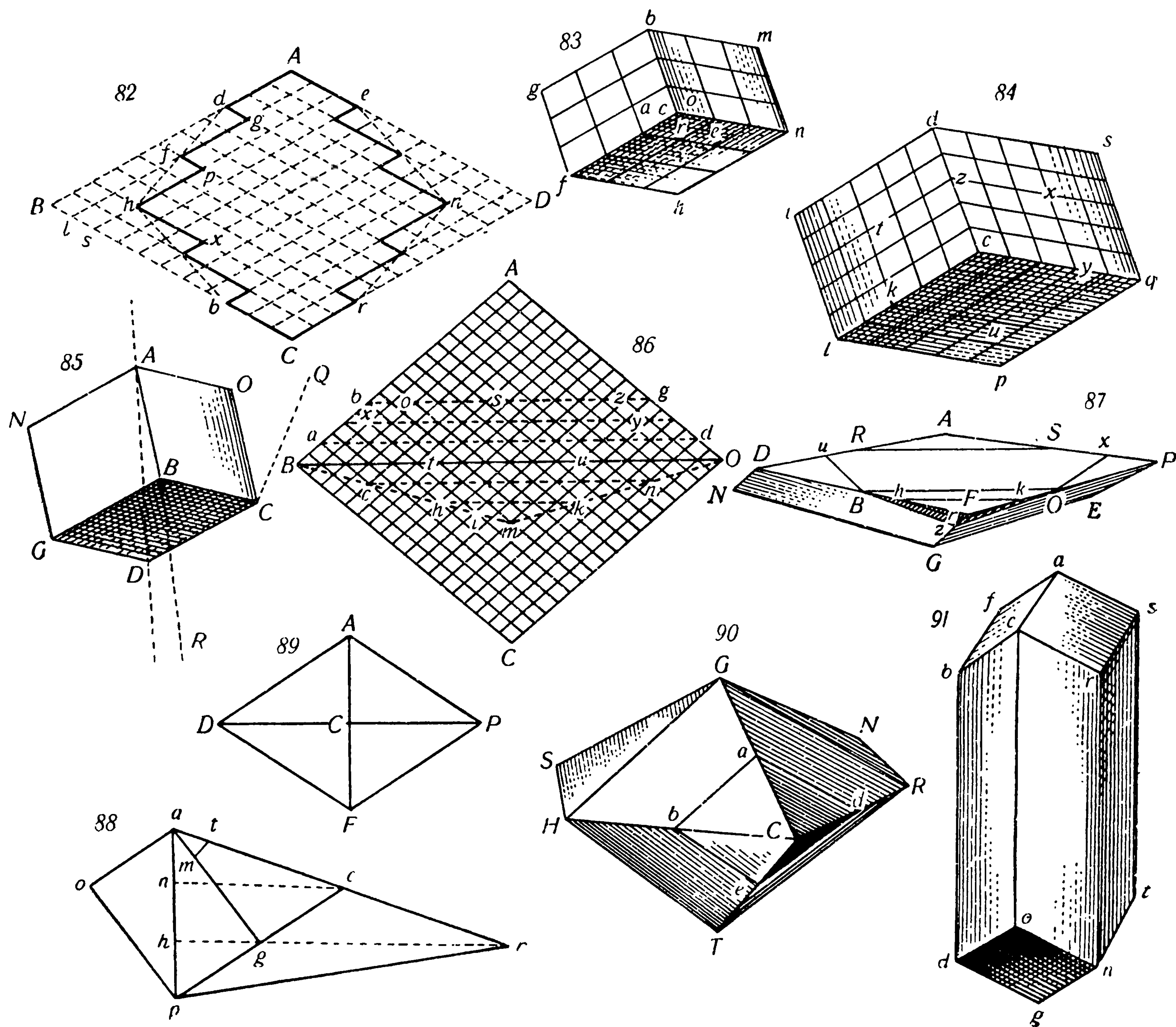


Рис. VIII.

Восьмигранная форма призмы отличается достаточной четкостью в этом топазе для того, чтобы позволить определить с соответствующей точностью закон убывания, претерпеваемый налегающими слоями, начиная с ребер *fp*, *sk* (фиг. 71), где заканчиваются прямоугольные боковые грани этой призмы.

Пусть *AdhlCrne* (рис. VIII, фиг. 82) — горизонтальное сечение этой призмы. Если бы не происходило никаких убываний составных молекул, это сечение имело бы форму ромба *ABCD*. Предположим, что в точке *d*, где начинается убывание с края *AB*, имеется один ряд *dglB* убывающих молекул. Другой ряд *fpsl* находится в точке *f*, отстоящей от точки *d* на три молекулы, и так далее. Определим углы, которые образуются в результате этого закона убывания. В треугольнике *dfg* мы имеем $dfg = Adg = 55°34'$ и сторону $gf = 3\ dg$. Следовательно, можно приравнять $dg = 1$; $gf = 3$. Решив этот треугольник, получим для логарифма тангенса полуразницы углов *d* и *f* число 99 772 678, которое соответствует 43°30′. Отсюда заключаем, что *dfg* или $fhp = 18°43'$. Прибавив к *phx*, который равен 55°34′, двойную величину *fhp*, получим угол $dhb = 93°$ и угол $Adh = Adg + fdg = 55°34' + 105°43' = 161°17'$. Это соответствует также данным измерения на кристалле. Отсюда видно, что такие убывания происходят в соответствии с одним из самых обычных законов кристаллизации за тем исключением, что они носят как бы перемежающийся характер. [46]

82. Вернемся теперь к бразильскому топазу. Я установил, что в этом кристалле убывания слоев, образующих своими краями грани пирамид, происходят за счет убывания двух рядов молекул, как это имело место с гранями *otsue* (фиг. 70) или *qmtsu* (фиг. 71) в саксонском топазе.

Что касается расчета плоских углов того и другого топаза, я воздержусь приводить его здесь, так как он слишком длинен и сложен, особенно для саксонского топаза. Учитывая наклоны, которые образуют между собой различные грани этих кристаллов, геометры, желающие проверить мои расчеты, смогут без труда получить результаты, выведенные мной для обоих топазов.

Глава IX

ПРИМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ТЕОРИИ К ОКРИСТАЛЛИЗОВАННОМУ ПЕСЧАНИКУ ИЗ ФОНТЕНЕБЛО [47]

83. Ромбоидальный песчаник из Фонтенебло всем теперь хорошо известен после того, как г-н де Лассон дал в «Ученых записках Академии наук за 1775 год» крайне точное и подробное описание этого рода кристаллов, так же как и выработок, в которых их можно найти. Г-н Саж [48] определил, [47] что эти ромбоиды состоят приблизительно на $^2/_5$ из известкового вещества и на $^3/_5$ из кварцевого вещества. Это позволяет их отнести к камням смешанного типа. Еще в 1782 году я задался целью определить,

---

[46] Этот закон можно было бы рассматривать как своего рода закон убывания трех рядов молекул.

[47] Eléments de Minéralogie. 2-e édition, Tom. I, p. 253.

принадлежат ли кристаллы этого рода к известковым шпатам или же они образовались в результате какого-то особенного изменения, вызванного смешением с кварцевым веществом. Прежде всего путем измерения мне удалось установить, что их плоские углы приблизительно равны углам ромбоидального шпата с острыми вершинами (§ 36), иными словами, они равны 75°31′20″ и 104°28′40″. Такие углы образуются закруглениями у вершин, очень часто имеющими место в ромбоидах. Мне даже удалось разделить несколько ромбоидов песчаника по тем же направлениям, как и вышеупомянутый известковый шпат, и получить довольно чистые срезы с природным блеском, хотя и несколько затемненным вследствие наличия песчаника. Эти исследования составляют предмет мемуара, прочитанного мной в Академии наук 18 января 1783 года. В результате наблюдений, изложенных в этом мемуаре, удалось установить, что кварцевое вещество, перемешанное со шпатом в вышеуказанных ромбоидах, ни в коей мере не влияет на их форму. Молекулы кварца здесь слишком плохо разделены для того, чтобы подвергаться настоящей кристаллизации. Они были всего лишь увлечены известковым веществом и в некотором роде находятся в зависимости от молекул шпата. Только последние и обладают достаточной степенью тонкости для кристаллизации. [48]

Глава X

НАБЛЮДЕНИЯ И ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА КРИСТАЛЛОВ

84. В предыдущих главах я ограничился вопросами, касающимися структуры кристаллов. Я применил свою теорию только к некоторому числу минералогических родов и не касался многих форм, либо оказавшихся трудно доступными для изучения, либо представлявшихся мне менее интересными чем те, на которых я остановил свой выбор. Тем не менее я полагаю, что сказанное уже достаточно убедительно показывает, что слои, слагающие вторичные кристаллы, действительно, убывают в соответствии с указанными мной законами. Возможно, что дальнейшие расширенные наблюдения позволят установить для отдельных кристаллов некоторые особенные действия этих законов. Мне кажется, однако, что уже теперь можно не без оснований считать, что самый обычный природный ход развития кристаллов соответствует тому, который я указал. Если даже в некоторых случаях и наблюдаются незначительные

---

[48] Эти наблюдения отчасти уже были проведены до меня. Однако исследователям не удавалось точно определить, к какой форме известкового шпата следует отнести вышеуказанные кристаллы.

изменения этого процесса, то они имеют всегда определенную связь с одним из вышеуказанных законов.

Далее, я приведу некоторые соображения относительно образования и прироста кристаллов, которые, как мне кажется, должны пролить свет на все сказанное мной выше, тем более, что они исходят непосредственно из наблюдений над структурой. Я воздержусь от какой-либо гипотезы относительно природы и характера действия первичных законов, знание которых может быть приобретено только в результате многочисленных опытов и углубленных исследований, трудно осуществимых при настоящем состоянии науки. Вполне вероятно (§ 6), что фигура кристалла выявляется с самого первого момента его формирования. Все кварцевые, известковые и другие кристаллы, обнаруживаемые в одной и той же жиле,[49] имеют одинаковую форму, независимо от их объема. Таким образом, те кристаллы, которые вследствие своей крайне малой величины не могут быть замечены без помощи оптического прибора, имеют уже форму самых больших кристаллов.

Так, например, нам попадались на некоторых кусках породы иглы кристаллов горного хрусталя необычайно малой величины. Вместе с тем эти иглы уже представляли собой призму, включенную между двумя пирамидами, т. е. имели точно такую же форму, как и большие кристаллы, с которыми они были перемешаны. Если бы каждая игла состояла сначала из двух пирамид без призмы, так что призма оказалась бы включенной между двумя пирамидами только после того, как кристалл достиг определенной величины, то в этом случае можно было бы видеть на одной и той же жиле кристаллы с пирамидой без призмы и другие с призмами на различной высоте. Между тем можно установить определенное соотношение между объемом различных игл и высотой их призмы. Если некоторые из них обнаруживают только начало призмы, то это объясняется, по-видимому, тем, что остаток кристалла углубился в породу. И действительно, можно довольно часто увидеть с противоположной стороны куска породы вторую пирамиду или даже другую оконечность призмы, образующую выступ, который, судя по его расположению, может быть частью того же самого кристалла. То же самое можно сказать и о кристаллах шпата, и о кристаллах других родов. Какова бы ни была их величина, они уже являются завершенными, каждый в соответствии со своей разновидностью. Ни в одном из них нельзя обнаружить ядра в открытом виде или переход от ядра к вторичной форме.

Это наблюдение позволяет мне провести существенное различие между структурой вторичного кристалла и его ростом, поскольку последний происходит обычно в направлении, обратном по сравнению со структурой.

[49] В действительности можно иногда встретить в одной и той же жиле кристаллы одинакового характера, но различной формы. По-видимому, эпоха кристаллизации для одних и других была различной, и они являются, если можно так сказать, продуктом двух различных формаций.

Так, например, в кубическом фосфоресцирующем шпате слои, которые отделяются по различным направлениям, указанным структурой, будут расположены параллельно граням октаэдрического ядра. Между тем, рост кристалла происходит последовательными концентрическими слоями, параллельными граням куба. Возникает вопрос, почему невозможно разделить точно куб фосфоресцирующего шпата параллельно его граням? Это объясняется тем, что поверхности слоев (или оболочек), накладывающихся друг на друга во время роста шпата, не являются гладкими плоскостями, а всегда испещрены множеством маленьких бугорков или вершинок маленьких октаэдров либо тетраэдров (§ 54). При этих условиях пластины, образующие вышеуказанные концентрические слои, окажутся как бы сцепленными одни с другими. Поэтому рука, направляющая режущий инструмент с целью разделения куба параллельно его граням, не сможет произвести все угловые движения, которых потребует сцепление этого рода.

Простое рассуждение, как нам кажется, убеждает нас в том, что рост кристаллов происходит обычно именно так, как я только что описал. Кристаллизация вещества в той или иной форме неизбежно зависит от особых причин или, скорее, от изменения общих причин, действующих в этом природном процессе. Может случиться, например, что фактором, заставляющим кристаллическое вещество принимать ту или другую форму, является, отчасти, само качество жидкости, в которой происходит кристаллизация.

Итак, влияние этого фактора начинает проявляться с того момента, когда молекулы окажутся достаточно приблизившимися друг к другу для того, чтобы, соединившись вместе, образовать первичный кристалл бесконечно малой величины. В дальнейшем этот кристалл будет только расти, сохраняя свою форму.

85. Рассмотрим процесс такого роста на примере известкового шпата, состоящего из двух шестигранных пирамид, грани которых являются разносторонними треугольниками (§ 33).

Пусть самое малое ядро из числа тех, которое может дать элемент вторичного кристалла, имеет грани, состоящие каждая из девяти ромбов. Иными словами, все кристаллическое тело состоит из двадцати семи ромбоидальных молекул. Допустим, что *c* (фиг. 83) — одна из вершин этого тела, а *gbcf*, *bcnm*, *cfhn* — три грани, соединенные так, что они образуют своего рода пирамиду, завершающуюся этой вершиной. Чтобы найти искомый первичный кристалл, следует предположить наличие по крайней мере одного слоя, наложенного на каждую из двух пирамид, из которых состоит ядро. Итак, поскольку убывание в настоящем случае происходит за счет двух рядов молекул (§ 34), легко убедиться в том, что вышеуказанный слой будет покрывать только три ромба *a*, *r*, *o*. Посмотрим теперь, сколько нужно молекул, чтобы построить этот слой, не образуя никаких пустот. Пусть три ромбоида наложены на *a*, *r*, *o* так, что их относительные

грани параллельны граням ядра. Эти ромбоиды оставят сначала три углубления между теми из их граней, которые будут примыкать к ребрам, смежным с вершиной *c*, например *ce*. Для заполнения этих углублений понадобятся три новых ромбоида. Затем потребуется четвертый ромбоид для того, чтобы заполнить пустоту, оставшуюся у вершины *c*. Таким образом, нижняя вершина этого последнего ромбоида совпадет с *c*. Следовательно, каждый слой будет состоять из семи молекул, а соединение ядра с этими слоями даст элемент вторичного кристалла, состоящий из сорока одного маленького ромбоида. Допустим теперь, что в следующий момент тело кристалла увеличится на самую малую величину, оставаясь в то же время подверженным действию вышеуказанного закона. Поскольку ядро будет также одновременно увеличиваться, то каждая из его граней окажется состоящей из двадцати пяти ромбов. Иначе говоря, ядро будет состоять из ста двадцати пяти молекул (фиг. 84). На каждой пирамиде, которая входит в его состав, будут наложены два слоя. Первый покроет двадцать семь ромбов, заключенных в контуре поверхности *ztkuyx*. Рассуждая дальше, приходим к выводу, что для покрытия этих двадцати семи ромбов нужно тридцать семь молекул. Второй слой, покрывающий три ромба, соответствующих тем, которые находятся вокруг точки *c*, будет состоять, как и в предыдущем случае, из семи молекул. На третьей стадии ядро будет состоять из 7^3, или из 343, молекул. Мы имеем здесь три слоя: один из 91 молекулы, второй из 37 и третий из 7.

На четвертой стадии ядро будет состоять из 9^3, или 729, молекул. Он будет покрыт четырьмя слоями. Из них первый состоит из 169 молекул, второй — из 91, третий — из 37 и четвертый — из 7 молекул.

Таким образом, различные состояния ядра могут быть последовательно выражены через 3^3, 5^3, 7^3, 9^3 и т. д. и в общем $(2n+1)^3$, принимая за n число стадий. Что же касается слоев, наложенных на ядро, то для выражения общего числа молекул, из которых они последовательно состоят, обратим внимание на следующие числа:

$$7=3+3+1=3\cdot1^2+3\cdot1+1,$$
$$37=27+9+1=3\cdot3^2+3\cdot3+1,$$
$$91=75+15+1=3\cdot5^2+3\times5+1,$$
$$169=147+21+1=3\times7^2+3\cdot7+1 \text{ и т. д.}$$

Отсюда легко убедиться, что вышеуказанные числа образуют сходящийся ряд. Обозначив, по-прежнему, через n число стадий, мы получим следующее общее выражение для каждой стадии:

$$3\,(2n-1)^2+3\,(2n-1)+1=12n^2-6n+1.$$

Удвоив это выражение для того, чтобы получить число молекул, из которых состоят оба слоя получим $2\,(12n^2-6n+1)$.

Эту формулу можно рассматривать как алгебраическое выражение для роста кристаллов. Анализируя подобным же образом ход процесса

для других вторичных кристаллов, получим другие числа молекул и аналогичные ряды, элементы которых будут изменяться в соответствии с другим соотношением. Первичный кристалл, состоящий из двадцати семи молекул, является, как я уже указывал, самым малым, возможным для данной разновидности кристалла. Но имеются некоторые разновидности, для которых можно допустить существование ядра, состоящего из большего числа молекул. Это имеет место в том случае, когда убывание происходит одновременно по нескольким законам. Из фиг. 83 видно, что первый слой, наложенный на ядро из двадцати семи молекул, не может подвергнуться одновременно убываниям за счет двух рядов маленьких ромбоидов на краях *hf*, *hn* и т. д. и за счет одного ряда на краях *cf*, *cn* и т. д. В этом случае слой сведется к нулю. Следовательно, можно предположить, что число молекул, составляющих первичное ядро кристалла, меняется в зависимости от обстоятельств, но, однако, так, что это ядро остается наивозможно малым относительно формы, которая должна образоваться в результате действия законов кристаллизации. Впрочем, я выдвигаю эти взгляды только как предположения. Они мне кажутся тем более правдоподобными, что соответствуют нашим представлениям о наибольшей простоте. Известно же, что простота всегда лежит в основе наиболее удачных объяснений природных явлений.

В результате своего рода отклонения от обычных законов кристаллизации может случиться, что кристалл будет расти в вышину, сохраняя при этом ту же толщину. Мне удалось наблюдать кристаллы известкового шпата в виде шестигранной призмы, завершающейся двумя шестиугольными гранями (§ 28), которые, казалось, состояли из нескольких коротких призм, наложенных одна на другую своими нижними основаниями. Соединение этих призм можно было обнаружить благодаря наличию очень тонкого слоя, более прозрачного, чем другие части кристалла, находящегося между двумя соседними призмами. Во всех природных процессах всегда встречаются случайности, второстепенные обстоятельства, которые изменяют действие первичных факторов. Это положение кажется особенно справедливым в отношении кристаллизации, подверженной влиянию множества частных причин, действующих друг за другом, перекрещивающихся и уравновешивающих друг друга.[50]

86. Структура кристаллов определяется некоторыми вторичными законами, комбинированное действие которых различным образом изменяет формы кристаллических веществ. Поэтому действие этих законов неизбежно оказывается ограниченным определенными пределами: от первичной

---

[50] Влиянию случайных причин следует также приписать, как мне кажется, неправильную форму некоторых кристаллов, в которых наблюдается недостаток нарастающего вещества в одних частях или нарастания излишнего вещества в других. К числу таких кристаллов относятся элементы, в которых имеются слишком различные телесные углы и вместе с тем совершенно отсутствуют соответственные углы, на месте которых находятся грани.

формы, которую следует рассматривать как самый простой продукт кристаллизации вещества, и до формы, являющейся результатом самых сложных модификаций вышеуказанных законов. Мне кажется, что определение этих границ является одной из наиболее интересных проблем естественной истории. Действительно, решение данной проблемы должно помочь определить совокупность всех действий законов сродства, заставляющих молекулы вещества взаимно притягиваться и соединяться друг с другом.

Я попытаюсь решить эту проблему применительно к известковому шпату. Для этого надо найти все возможные формы этого рода кристаллов, основываясь на полученных нами данных относительно наиболее обычных законов убывания составных слоев. Такое убывание может происходить путем удаления одного или двух рядов молекул, причем либо с краев пластин, либо с их углов. Обозначим через A' и через A'' убывание за счет одного или двух рядов молекул для угла c (фиг. 84) одного из слоев $clpq$, наложенного на ядро. Пусть a' и a'' обозначают убывание к углу p, а B' и B'' — убывания на боковых углах. Эти два рода убывания не могут изменяться один без другого, так как в этом случае кристалл не был бы правильным. Далее, обозначим через C' и C'' убывание одного и двух рядов на сторонах cl, cq и через c' и c'' — убывание на сторонах lp, pq.

Очевидно, что эти четыре стороны изменяются также попарно. Наконец, обозначим через F грани, соответствующие граням ядра. В случае, если убывание прекращается вдруг в некоторой точке, например у граната с 36 гранями (§ 72), мы получим одиннадцать величин A', A'', a', a'', B', B'', C', C'', c', c'', F, среди которых F, взятое по отдельности, будет представлять ядро или первоначальную форму. Из этих одиннадцати величин следует прежде всего вычесть а$'$ по изложенной ниже причине.

Остается десять величин, которые следует комбинировать одну с одной, две с двумя, три с тремя и т. д. Считая, что $m=10$, получим для этих различных комбинаций $m+m\frac{m-1}{2}+m\frac{m-1}{2}\cdot\frac{m-2}{3}+m\frac{m-1}{2}\cdot\frac{m-2}{3}\cdot\frac{m-3}{4}$ и т. д. $=10+45+120+210$ и т. д. $=1023$ комбинации.

Заметим теперь, что A', a'' и C' дают: первая — горизонтальные грани, а две другие — вертикальные. Отсюда следуют два вывода: 1) поскольку ни одна из этих трех величин не может существовать отдельно, ибо тогда кристалл останется незавершенным во всех своих частях, то следует вычесть три комбинации. Остается 1020 комбинаций; 2) комбинация $a''C'$ не может появиться одна, ибо она вызовет только вертикальные грани. В связи с этим следует исключить еще одну комбинацию. Остается 1019 комбинаций.

Я не включил в эти комбинации различные стадии, которые проходят некоторые части пластин, либо оставаясь постоянными, либо нарастая в силу особенного закона, в то время как другие части убывают. Это объясняется тем, что убывание последних неизбежно обусловливает постоянство или изменения вышеуказанных частей. Например, в известковом шпате с очень тупыми вершинами (§ 23) убывание слоев по верхним краям на один слой молекул неизбежно обусловливает постоянство этих слоев у нижнего угла. В известковом шпате с двенадцатью пятиугольными гранями (§ 25) изменение, претерпеваемое налегающими слоями на сторонах HK, GD (фиг. 20), является также неизбежным следствием убывания этих слоев на два ряда молекул в направлении оснований DK. Таким образом, все здесь зависит от закона убывания. Поэтому, если представить себе различные плоскости, приложенные к ребрам налегающих слоев в местах убывания последних, то они определяют грани вторичного кристалла. При этом их общие сечения совпадут со сторонами этих же граней. Теперь можно понять, почему из ряда комбинаций следует исключить величину a', т. е. величину, которая дает убывание на один ряд молекул на нижнем углу p (фиг. 84) налегающих слоев. Положим, что $ANGB$, $ABCO$ (фиг. 85) — две из граней, соединяющихся по три вокруг верхней вершины A ядра известкового шпата, а $BGDC$ — одна грань из числа тех, которые соединяются вокруг нижней вершины D этого ядра. Мы уже видели (§ 24), что когда налегающие слои убывают по направлению к их углу GBC или BCD на два ряда молекул, малые грани, образуемые этими убываниями, имели вертикальное положение. Отсюда следует, что закон убывания, имеющий более медленное действие, например в случае убывания на один ряд, приведет к образованию граней, положение которых, указанное здесь линиями BR, CQ, будет отклоняться относительно оси AD ядра.[51] Следовательно, плоскости, проходящие через эти грани, пересекаясь, образуют входящие углы. Однако, как я уже отмечал (§ 70), первичные законы кристаллизации, по всей вероятности, исключают наличие какого-либо входящего угла в кристаллах. Следовательно, вышеуказанная комбинация не может иметь места, даже если предположить, что она сочетается с другой комбинацией. Последнее условие является необходимым, так как в противном случае кристалл ни на одном конце не будет завершенным, ибо его ось вследствие отклонения граней относительно этой оси станет бесконечной.

Если основываться на описаниях исследователей, подробно занимавшихся этим вопросом, то среди 1019 комбинаций, возможных для известко-

[51] Слои известкового ромбоидального шпата с острыми вершинами (§ 36) изменяются в действительности вследствие убывания одного ряда молекул у нижнего угла. Однако следует отметить, что это убывание происходит в направлении от поверхности кристалла к ядру. В результате, если рассматривать эти слои со стороны ядра, то можно констатировать настоящий рост, являющийся неизбежным следствием убывания у боковых углов. См. структуру вышеуказанного шпата.

вого шпата, известны только тридцать. Вероятно, будут открыты еще новые комбинации. Однако я думаю, что число граней окажется ограниченным. Нет оснований предполагать, что десять положений, которые дала бы совокупность вышеуказанных величин, встречаются все в одном и том же кристалле. Только целый ряд привходящих обстоятельств мог бы, как мне кажется, способствовать получению столь сложного результата. Наблюдение позволит нам установить, в каких пределах могут совершаться изменения, которым подвержены эти природные процессы.

87. Далее, я считаю необходимым привести в качестве примера структуру, в которой наблюдается изменение формы, до сих пор не обнаруженное мною на известковых шпатах и, насколько мне известно, не описанное еще ни одним автором. Допустим, что слои, наложенные на ромбоидальное ядро исландского шпата, убывают только с верхнего угла A (фиг. 86) на два ряда молекул. Грани, образовавшиеся в результате этих убываний, останутся смежными с двумя вершинами оси и образуют с этой осью угол значительно более открытый, чем угол, образуемый гранями ядра с той же самой осью. Если рассматривать эти грани как пересекающиеся плоскости, то можно заметить, что совокупность этих граней должна образовать сильно сплющенный ромбоид. Рассмотрим теперь структуру этого ромбоида и определим его плоские углы.

Пусть $ADFP$ (фиг. 87) — одна из граней, соединенных по три в вершине A этого ромбоида, и $DFGN$ и $PFGE$ — две грани нижней части этого кристалла, причем G является противоположной вершиной. Так как данный кристалл может быть разделен только параллельно граням ядра, то будут отделены сначала треугольные слои hrk, BzO и т. д., наклон которых относительно оси будет повернут к вершине A. Структура одного из этих слоев обозначена положением ромбов, занимающих площадь треугольника hmk (фиг. 86). Линии hm, mk направлены здесь так, что между их пересечениями him с составными ромбами захвачены всегда два из этих ромбов, что является следствием закона убывания на два ряда молекул. Вне середин B, O и т. д. сторон DF, PF и т. п. (фиг. 87), где соседние сечения соприкасаются друг с другом, эти сечения пересекаются так, что углы B, O треугольников BmO (фиг. 86) исчезают. Данные треугольники принимают форму пятиугольников, например $acmnd$, и постепенно переходят к фигуре треугольника bmg.[52] Тогда мы получим тело с двенадцатью треугольными гранями, из которых шесть, подобных друг другу и обозначенных тре-

---

[52] Линии, образующие здесь пятиугольник $acmnd$, показывают только относительные положения пятиугольника, а не размеры сторон его. Поскольку этот пятиугольник нарастает в высоту, причем не только к основанию, но также и к своей вершине m, то по мере отделения новых слоев, как легко можно убедиться, сечения ac, dn будут более удалены друг от друга, чем на рисунке. Таким образом, когда пятиугольник достигает формы треугольника bmg, основание bg этого треугольника следует рассматривать как равное линии BO.

угольником ARS (фиг. 87), будут представлять собой остатки обычных граней рассматриваемого нами ромбоида. Шесть других граней bmg (фиг. 86) будут подобны половинам ромбов исландского шпата. Вне точек RS и т. д. (фиг. 87) сечения пересекут пятиугольники $oxmyz$ (фиг. 86), которые постепенно примут фигуру ромба $stmu$. В этой точке ядро тела окажется раскрытым.

Такова структура ромбоида, который, если бы он существовал, был бы четвертым в роде известковых шпатов. Нельзя представить себе, чтобы он был иным, если основываться только на законах убывания посредством одного или двух рядов молекул.

88. Определим теперь величину плоских углов этого ромбоида. Допустим, что $aopg$ (фиг. 88) изображает сечение ядра, подобного четырехугольнику $abdg$ (фиг. 24). Иначе говоря, оно образовано малыми диагоналями ag, op двух противоположных граней этого ядра и боковыми сторонами, или ребрами, ao, pg, находящимися между этими диагоналями. Продолжим pg до тех пор, пока $gc=pg$. Проведем acr, продолженную до бесконечности. Затем, разделив ось ap на три равные части в точках n, h, опустим на эту ось перпендикуляры nc, hr до пересечения с линией acr. Пусть amt — измерительный треугольник. Так как убывание происходит здесь на два ряда молекул, то am будет (§ 14) целой малой диагональю одной из этих молекул, а mt — одним из ребер. Отсюда получим (§ 30) $am=2\sqrt{2}=\sqrt{8}$ и $mt=\sqrt{5}$. Ввиду наличия подобных треугольников amt, agc, мы можем также определить: $ag=\sqrt{8}$ и $gc=\sqrt{5}$. Треугольники pgh, pcn, которые также подобны, дают $pg:ph::pc:pn$. Путем подстановки (§ 30) получим $\sqrt{5}:1::2\sqrt{5}:pn=2$. Отсюда $cn=\sqrt{\overline{pc}^2-\overline{pn}^2}=\sqrt{20-4}=4$. Кроме того, как уже было установлено, $ap=3$ (§ 35). Следовательно, $pn=2$ и $an=1$. В результате

$$ac=\sqrt{\overline{cn}^2+\overline{an}^2}=\sqrt{16+1}=\sqrt{17}\cdot hr=2cn=8;$$

$$ar=\sqrt{\overline{hr}^2+\overline{ah}^2}=\sqrt{64+4}=\sqrt{68}.$$

Наконец,

$$pr=\sqrt{\overline{hr}^2+\overline{ph}^2}=\sqrt{64+1}=\sqrt{65}.$$

Итак, во всем ромбоиде конец малой диагонали оказывается всегда на той же высоте, что и точка h, которая находится на $\frac{2}{3}$ оси. Поэтому ar будет здесь этой диагональю, а pc — одним из ребер ромбо-

ида. Следовательно, в этом теле малая диагональ относится к боковой стороне как $\sqrt{68}$ к $\sqrt{65}$. Пусть $ADFP$ (фиг. 89) — одна из граней ромбоида. Тогда $AD=\sqrt{65}$, $AC=\frac{1}{2}\sqrt{68}=\sqrt{17}$ и $DC=\sqrt{65-17}=$ $=\sqrt{48}=4\sqrt{3}$. Решив прямоугольный треугольник ADC соответственно этим данным, найдем логарифм угла DAC — число 99 341 639, которое соответствует 59°14′32″. Отсюда следует, что тупой угол DAP равен 118°29′4″, а острый угол $ADF=61°30'56''$.

89. Допустив другие комбинации, можно определить новые формы, аналогичные уже известным. Мне удалось доказать (§ 22), что в случае, если слои, налегающие на ядро, убывают постоянно по верхним краям AB, AO (фиг. 86) на один ряд молекул, то в результате получается ромбоид с вершинами более тупыми, чем вершины исландского шпата, но менее тупыми, чем вершины только что рассмотренного ромбоида.

Предположим теперь, что слои наложения убывают у тех же краев на два ряда молекул. В результате этого убывания получим фигуру $SGNRTH$ (фиг. 90) с двенадцатью треугольными равнобедренными гранями, равными друг другу. Угол у вершины CGR, HGC и т. д. будет равен 53°07′48″. В этом можно убедиться, вычислив этот угол соответственно вышеуказанному закону убывания. Нам уже приходилось рассматривать кристалл известкового шпата, состоящий из двух гексаэдрических пирамид (§ 33), но имеющий грани в форме разносторонних треугольников. Рассматриваемая здесь фигура может быть разделена сечениями $abed$, параллельными плоскости, проходящей по ребрам GH, GR, т. е. ребрам самого ядра. Легко представить себе все остальное, если принять во внимание структуру, образующуюся в результате описанных мною законов убывания.

90. Возможны случаи, когда две совершенно аналогичные формы встретятся в кристаллах одного рода с различными структурами. Предположим, например, что имеются слои, которые убывают к нижним краям BC, OC (фиг. 86) на один ряд молекул. Эти слои, наложенные на ядро, образуют фигуру с шестью вертикальными гранями, представляющими собой косоугольные параллелограммы $conr$, $rnts$ (фиг. 91). Фигура будет заканчиваться двумя вершинами, из которых каждая состоит из трех ромбов, таких как $acrs$, подобных ромбам ядра. Такой кристалл, действительно, существует и даже был описан г-ном Бергманом в цитированном выше сочинении, сноска 20. Если налегающие слои убывают одновременно к верхним углам, например a, на один ряд молекул, то в результате такого убывания образуются две горизонтальные грани на двух концах фигуры, которая в этом случае уподобится призме с шестью прямоугольными гранями (§ 28). Однако такая фигура будет делиться на косые сечения по вертикальным ребрам bd, rn и др., а не по ребрам, образуемым боковыми гранями шестигранника, как в вышеупомянутой

призме. Это свидетельствует о наличии большого числа разновидностей кристаллизации.

Таким образом, формы кристаллов крайне разнообразны, и можно предположить, что в дальнейшем будет открыто еще множество других форм. Однако не следует с предубеждением относиться к выводам кристаллографии, ибо это может воспрепятствовать развитию науки о минералах.

Будем же стараться рассматривать Природу такой, какая она есть, упрощать изучение ее путем установления непреложных и постоянных принципов и, по мере возможности, устранять трудности, возникающие при этом изучении. Для этого необходимо связывать отдельные частности посредством самых общих взглядов, позволяющих нам расширить крайне ограниченное знание тех конечных причин, от которых зависят различные явления Вселенной.

ОТВЕТ Г-НА ГАЮИ[1], ПОЧЕТНОГО ЧЛЕНА ОБЩЕСТВА, НА ВОЗРАЖЕНИЯ Г-НА БЕРТОЛЛЕ[2], КАСАЮЩИЕСЯ МЕТОДА КЛАССИФИКАЦИИ АВТОРА (STATIQUE CHIM., ТОМ I, СТР. 433-449). Г-НУ РАХМАНОВУ[3], ЕГО УЧЕНИКУ И ЧЛЕНУ ОБЩЕСТВА



Прежде чем перейти к соображениям, вызванным у меня дискуссией, ни в коей мере не поколебавшей моего глубокого уважения и искренних дружеских чувств к моему знаменитому собрату, я считаю необходимым изложить принципы, которыми я руководствовался при разработке своего минералогического метода.

Установление интегрирующих молекул кристаллов и вычисление законов, управляющих их расположением, привели к теории, с помощью которой мне удалось свести различные формы, образуемые кристаллами каждого вида, к одной и той же примитивной форме, служащей для них как бы исходным ядром. Используя эту теорию, основной целью которой является усовершенствование кристаллографии, я заметил в целом ряде случаев, что она может быть применена с пользой также для точного определения минералогических видов. Это основывается на следующих принципах.

Как показывает наблюдение, минералы, рассматриваемые в соотношении с их интегрирующими молекулами, распадаются как бы на два класса. К одному классу принадлежат те, в которых каждая фигура молекулы указывает на наличие определенного сочетания составных элементов. Например, ромбоид, плоский тупой угол которого равен 101°32′, свойственен исключительно углекислой извести [4]. Треугольная призма, в которой сторона основания равна высоте, характерна для изумруда. Но если сторона основания относится к высоте, как $\frac{1}{2} : 1$, мы имеем молекулу фосфорнокислой извести [5]. Вычисление, определяющее таким путем отношения между размерами молекулы, углы которой уже установлены наблюдением, позволяет провести четкую линию различия между тем и другим минеральным видом.

К другому классу относятся минералы, в которых одна и та же форма молекулы может принадлежать различным видам. Но здесь одно обстоятельство заслуживает особого внимания. Дело в том, что в этом случае форма молекулы всегда отличается особенной правильностью и является как бы пределом для других форм. Число этих форм сводится к трем: кубу, правильному тетраэдру и тетраэдру с равными и сходными равнобедренными треугольниками.

Теперь я перейду к правилам, выведенным мною из предшествующих наблюдений относительно формирования видов.

Для того чтобы иметь постоянную исходную точку для исследования,

следует сначала рассмотреть минералы в их наиболее совершенном состоянии, т. е. тогда, когда они представляют абсолютно правильную форму. Когда будет определена интегрирующая молекула кристалла, тотчас же выяснится, принадлежит ли она к числу тех, которые относятся исключительно к данному виду, или же она обладает одной из форм, общих для многих веществ.

В первом случае будет легко сопоставить разновидности кристаллизации, относящиеся к одному и тому же веществу, убедившись с помощью теории законов структуры, что все их формы, и даже те, которые не сохраняют никакого следа примитивной формы, тесно с нею связаны. Что же касается зернистых или плотных масс, то их определение будет зависеть от физических или химических свойств тел: удельного веса, твердости, действия кислот и т. д. Этот метод подобен другим, которые за отсутствием возможности применять показатели, вытекающие из структуры, вынуждены опираться на подобные характерные свойства. Вместе с тем именно этот показатель может быть применен с наибольшей пользой для того, чтобы нанести на картину вида те основные черты, которым все другие должны быть подчинены.

Остается случай, когда данная форма молекулы может принадлежать различным веществам. Тогда требуется сочетание какого-либо другого свойства с тем, которое дает нам структура, для использования последнего с целью распознавания вида. Так, например, свойство растворяться в воде в сочетании с кубической формой характеризует солянокислый натрий [6]. Если присоединить к этой же форме способность к электризации от теплоты, то получим магнезиальный борат [7] и т. д.

Вышеописанный метод кажется мне тем более приемлемым, что он основывается прежде всего на результатах законов образования наиболее совершенных кристаллов. Эти законы всегда сохраняют свою действенность, если только не вмешиваются какие-либо силы, нарушающие их ход. Вне же этих законов мы имеем только неустойчивость и беспорядок. Я надеялся, что эта своего рода сравнительная анатомия кристаллов, хотя она и уступает во многом подлинной анатомии, оказавшей столь серьезную поддержку зоологии, сможет, тем не менее, привести к дальнейшему усовершенствованию минералогии.

Впрочем все вышесказанное касается только самого автора метода, которому необходимы наиболее точные средства для составления определяющей таблицы. Но тот, кто намерен только пользоваться этой таблицей для распознавания тел, принадлежащих к каждому виду, может достичь этой цели, используя характерные свойства, наиболее удобные для обработки и наиболее легко поддающиеся проверке.

Таким образом, именно геометрия кристаллов должна взять на себя задачу определения видов и кристаллических разновидностей. Физические же и другие свойства определяют некристаллические разновидности. К химии же относится определение рода и высших подразделений.

Теперь я попытаюсь опровергнуть аргументы своего знаменитого коллеги. Сознаюсь, что когда впервые ознакомился с ними, у меня возникло желание подчиниться столь авторитетному мнению. Но теперь, в результате глубоких раздумий, выслушав советы просвещенных друзей, ставящих интересы истины выше моих личных интересов, я пришел к несколько иному суждению. Трудности, которые вначале вызвали у меня сомнения, кажутся мне теперь лишенными оснований.

«Подобает ли, — говорит мой коллега, — приписывать столь большое постоянство отличительному свойству, которое не указывает на какое-либо различие между противоположными веществами и т. д.».[1] Мне уже удалось преодолеть эту трудность, которая вызвана тем, что некоторые минералы различных видов имеют молекулы одинаковой формы. Я установил, что в этом случае сама форма молекулы говорит о том, что она может соответствовать различным веществам, и что достаточно добавить второй отличительный признак к тому, который определяется формой молекулы, для того чтобы распознать данный вид. Примерно таким способом ботаник распознает, например, два вида растений, каждое из которых имеет две тычинки и один пестик, с помощью вспомогательного признака, обусловленного формой венчика или формой плода. Если система базируется на определенном характерном признаке, его следует применять повсюду, но нет необходимости применять исключительно только его. Природа столь разнообразна в своих творениях, что следует считать себя счастливым, если удается найти способ, применение которого распространяется на все виды, принадлежащие к одному и тому же миру, и который требует только при некоторых обстоятельствах вспомогательных средств, постоянно сохраняя за собой господствующую роль.

Более серьезное возражение моего коллеги исходит из предположения, что различные молекулы могут принадлежать одному и тому же виду [8].[2] Действительно, анализы веществ, которые были приведены в качестве примеров, анализ арагонита и безводной сернокислой извести [9] давали до сих пор те же результаты, что и углекислая известь, с одной стороны, и обыкновенная сернокислая известь [10], с другой. Между тем имеется значительное различие в формах молекул, относящихся к арагониту и углекислой извести или к обыкновенной сернокислой извести и безводной сернокислой извести.[3]

Ответ мне подсказывает сам г-н Бертолле, выдвинувший это возражение. «Один и тот же состав в минералах, — указывал выше этот знаменитый химик, — может обусловливать физические свойства достаточно различные для того, чтобы можно было их различать».[4]

[1] Statique Chim., p. 437.

[2] Statique Chim., p. 443.

[3] Наличие воды в первом из этих веществ вызывает, согласно Бертолле, только незначительное различие, так как оказывает крайне слабое воздействие по сравнению с взаимным действием серной кислоты и кальция. Там же, стр. 445.

[4] Там же, стр. 436.

Арагонит отличается от обыкновенной углекислой извести более высоким удельным весом, значительно большей твердостью, стекловидным блеском и поперечным изломом, подобным излому кварца. С другой стороны, безводная сернокислая известь имеет удельный вес на одну треть больше удельного веса обыкновенной сернокислой извести; она обладает также большей твердостью, не белеет, как последняя, и не расслаивается под действием огня. Эта особенность, которая объясняется отсутствием воды, вместе с тем может рассматриваться как одно из характерных физических свойств. Упомянутые мною качества указывают, следовательно, на различие веществ, которые ими обладают. Согласно Бертолле, они должны играть более значительную роль, чем состав, который в данных случаях объединяет эти вещества. Итак, форма интегрирующей молекулы дает то же показание, что и химические свойства. Следовательно, примеры, намеренно выбранные для противопоставления, относятся к минералам, которые нельзя правильно расклассифицировать, не отклонившись от учения Бертолле. Вместе с тем теория структуры кристаллов доводит нас точно до цели. Здесь можно поставить два вопроса: существует ли в действительности то, что минералог видит в арагоните? Это — очевидно, и в то же время этого достаточно, чтобы отличить арагонит от углекислой извести. Второй вопрос сводится к следующему: находится ли в арагоните только то, что в нем до сих пор находили химики? Если это так, то весьма заметные различия, существующие между арагонитом и углекислой известью в отношении формы молекулы, твердости сложения, не вызваны никакими причинами.

Я приводил в пример изумруд как одно из веществ, молекула которого не может принадлежать различным минералам. Согласно учению Бертолле, окись хрома находится в изумруде в состоянии тесного сочетания,[5] из чего следует, что присутствие ее существенно необходимо для изумруда. С другой стороны, я доказал, следуя законам структуры, что берилл и изумруд относятся к одному и тому же минералогическому виду. Вот что говорит по этому поводу Бертолле: «Эти столь тщательные исследования, имеющие целью теоретическое определение кристаллических форм, привели только к показанию, интересующему минералогов, а именно к определению идентичности состава изумруда и берилла, установленной Вокелэном и связанной с открытием новой земли» [[11]].[6] Нужно сказать, что берилл не заключает в себе ни одного атома хрома. Я уже отмечал с сожалением по поводу других замечаний, направленных против меня, что мой знаменитый коллега нередко противоречит сам себе. Однако я еще более сожалею о том, что он не проявил последовательности в единственном случае, когда его мнение могло оказаться благоприятным для моей теории [[12]].

Вот и другое возражение, относящееся к железному шпату, или шпа-

[5] Statique Chim., p. 439.

[6] Я надеюсь, что читавшие мой трактат, найдут это определение недостаточным.

товому железняку [13]. Это вещество и жемчужный, или бурый, шпат [14] имеют такую же интегрирующую молекулу, как и углекислая известь, из которой фактически и состоят эти два минерала с дополнительным количеством железа и марганца. Кроме того, формы, образуемые этими минералами, встречаются среди разновидностей углекислой извести. Из этого я заключил, что их не следует рассматривать как отдельные виды, тем более, что количество железа и марганца в них значительно меняется. В связи с этим я поставил их после углекислой извести, явный отпечаток которой они несут на себе [15]. Для того чтобы учесть наиболее существенный дополнительный элемент — железо, наличие которого, согласно моей теории, может в некоторых случаях изменить углекислый кальций, я добавил к специфическому наименованию эпитет «железистый», который отличает данный подвид от вида, представленного во всей его чистоте.

«Вот, — говорит мой знаменитый коллега, — минерал, который содержит согласно данным анализа значительное и даже преобладающее количество вещества [7] с весьма активными металлическими свойствами. И хотя это вещество имеет широкую область применения в прикладных искусствах, природа его в данной системе определена не более точно,[8] чем природа самой мелкой разновидности второстепенной кристаллизации».[9]

Что касается той пользы, которую может принести прикладным искусствам металл, содержащийся в железном шпате, то об этом автору трактата следовало бы упомянуть в примечании. Но это еще не причина для того, чтобы нарушить порядок в системе, которая должна представлять саму Природу, независимо от того, каким потребностям общества могут служить данные вещества. Непосредственный ответ на возражения г-на Бертолле заключается в следующем. Я усматриваю в этом только ряд незначительных переходов, начинающийся с жемчужного шпата, содержащего малые количества железа (иногда 3 или 4%), далее, переходящий к тому же шпату с большим количеством железа (до 20% в некоторых кусках) и завершающийся железным шпатом, наиболее богатым металлом. Итак, имеется столько же оснований для того, чтобы оставить крайне бедный железом жемчужный шпат в одном ряду с углекислой известью, как и для того, чтобы продолжать рассматривать множество камней, содержащих железо в большом количестве, как простые варианты видов, к которым их относили. Если это так, какое же место в системе должен занять новый вид, который, называясь железным шпатом, должен занять место среди железных руд? Любое из выбранных нами мест окажется произвольным. Если, несмотря на все колебания в содержании железа, форма известковой молекулы продолжает существовать без каких-либо значительных изменений, не является ли это основанием для того, чтобы придерживаться

[7] Как я уже указывал, это количество крайне изменчиво.

[8] Это не точно, поскольку углекислый кальций, содержащий железо, образует в моей системе подвид.

[9] Statique Chim., p. 447.

показания этой формы? Не следует ли рассматривать бурый и железный шпаты как простые продолжения вида, передавшего им свою наиболее существенную особенность?

Я добавлю к этому одно соображение, вытекающее из самой сущности вопроса, которое, как мне кажется, произвело впечатление на весьма искусных химиков. Дело в том, что существует большое различие между способом соединения или взаимодействия частиц, присущим подвиду или дополнению к некоторому виду, уже занесенному в систему, и тем способом, который присущ определенному отдельному виду. Например, в обыкновенной углекислой извести форма молекулы зависит не только от кислоты, так как в этом случае углекислая известь и углекислый стронций имели бы одинаковую молекулу, и не только от одной извести, так как тогда одна и та же молекула была бы и у углекислой, и у сернокислой извести. Форма молекулы, следовательно, вызывается сочетанием двух форм, из которых одна присуща кислоте, а другая — извести.

Иначе обстояло дело при образовании железного шпата. Здесь не было молекул извести, углекислоты, железа, марганца и кислорода, которые, оказывая непосредственное воздействие друг на друга, способствовали образованию единого соединения. В этом случае получалась бы особенная форма интегрирующей молекулы с присущими ей характерными свойствами, что повлекло бы за собой ее специфическое отличие от других. В действительности это — интегрирующие молекулы углекислой извести, уже полностью сформировавшиеся, которые присоединили к себе молекулы или может быть даже атомы (зерна) железа и марганца. Таким образом, формы различных молекул не были, если можно так выразиться, нейтрализованы одна другой, и смесь сохранила отпечаток формы углекислой извести. Итак, этот случай в отличие от первого указывает на наличие не отдельного вида, а простого изменения вида, тип которого сохраняется постоянным. Таким же образом в изумруде молекулы хрома, хотя и соединенные с родственными им молекулами данного камня, не изменяют тем не менее его формы. Они как бы рассеяны между ними, и не препятствуют тому, чтобы изумруд относился к тому же виду, что и берилл, не содержащий хрома.

Я не буду больше углубляться в подробности. Но я могу утверждать, что все другие возражения моего знаменитого коллеги также могут быть легко опровергнуты, тем более, что он постоянно вступает в противоречие либо с самим собой, либо с принципами, которые я считаю вполне доказанными. Кроме того, он сделал признание, которое только подтверждает мои результаты. Так, например, он считает, что содержание составных элементов в минералах может изменяться в значительных пределах, хотя они и обнаруживают признаки полного соединения.[10] Из этого следует, что только форма интегрирующей молекулы может служить

[10] Statique Chim., p. 441.

некиим постоянным ориентиром, тогда как все остальные данные подвержены колебаниям.

В действительности, чем являются наши системы, как не способами рассмотрения Природы, подчиненными определенным принципам? Чем меньше число этих принципов, чем они проще и доступнее для уточнения, тем ближе система к совершенству. Мне казалось, что я удовлетворил этим требованиям, поставив во главу системы минералогических видов самые лучшие образцы, отмеченные характерным признаком, обладающим следующим двойным преимуществом: приводить ум к четким умозаключениям и быть доступным для обозрения. Действительно, довольно редко случается, что Природа не дает нам примитивной формы среди различных вариантов какого-либо одного вида. Во всяком случае для того, чтобы обнаружить примитивную форму, достаточно мысленно уничтожить несколько граней в некоторых кристаллах, где она находится в измененном виде. В результате во многих случаях подобный подход сводит определение видов к геометрической задаче, способной дать только однозначное решение. В тех же случаях, когда задача остается незавершенной до конца, этот метод черпает из самых элементарных физических и химических операций те данные, которых недостаточно для единого решения.

Отсюда следует, что если несколько естествоиспытателей, уже неоднократно пользовавшихся этим методом, попытаются применить его к некоторому числу минералов, не сговорившись между собой, то полученные ими результаты будут как бы скопированы друг с друга. Вместе с тем мне кажется сомнительным, что, приняв одну и ту же гипотезу, они смогут придти к одинаковым выводам относительно числа и разделения видов, если они ограничатся другими характерными свойствами, постоянно подверженными колебаниям. Они придут к разным выводам даже в том случае, если они прибегнут к помощи анализа, изменяющегося в более или менее широких пределах. Я надеюсь, что это последнее соображение встретит одобрение у тех, кто видит в единообразии результатов научного исследования одно из его главных достоинств.

Уже давно высказывалось мнение, что различные науки должны оказывать друг другу взаимную поддержку для достижения своих целей, и что геометрия, если к ней прибегают, приобретает главнейшую роль и как бы санкционирует результаты, полученные другими науками. В силу какого же странного исключения результаты законов, устанавливаемых геометрией при анализе структуры кристаллов — единственных геометрических тел, представляемых нам Природой, могут стать источником погрешностей в методе, предназначенном для их правильной классификации? Может ли минералогия рассматривать расчеты, относящиеся к этим результатам, как умозрительные операции, совершенно не способствующие прогрессу этой науки?

ПРИЛОЖЕНИЯ



РЕНЭ ЖЮСТ ГАЮИ

ЖИЗНЬ И ТВОРЧЕСТВО

Ренэ Жюст Гаюи (René Just Haüy) родился 28 февраля 1743 года в местечке St. Just, находящемся на расстоянии 70 км от Парижа, в семье бедного ткача. Способности ребенка и его кроткий характер привлекли к нему симпатии его первого учителя — местного аббата. По рекомендации последнего маленький Гаюи попадает в Париж в качестве певчего церковного хора. В дальнейшем ему удается стать учеником, а впоследствии преподавателем и регентом Наваррской духовной Коллегии. Позже он переходит в Коллегию кардинала Лемуаня опять-таки на должность регента и преподавателя сперва гуманитарных наук, а затем физики. Здесь Гаюи работал в течение двадцати лет.

В это время он близко знакомится с аббатом Ломондом, страстно увлекавшимся ботаникой. Для того чтобы доставить удовольствие своему старому приятелю, Гаюи старательно изучает растения, осваивает систему Линнея и помогает составлять гербарии. Однако это увлечение оказалось не особенно глубоким. В большом списке научных трудов Гаюи (число их достигает 146) мы находим только две небольшие ботанические заметки, описывающие способы консервации растений в гербариях. Сохранилось также шуточное стихотворение, где Гаюи описывает день рождения своего друга, сравнивая участников торжества с разнообразными цветами, а самого себя — со скромным одуванчиком.[1]

Нередко оба друга предпринимали прогулки в знаменитый Парижский ботанический сад (Jardin des plantes). Однажды, увидав там толпу студентов, спешивших на лекцию профессора Л. Ж. М. Добантона, Гаюи присоединился к ним и впервые ознакомился с началами минералогии и кристаллографии. Новая научная дисциплина всецело завладела им. Один вопрос в особенности заинтересовал Гаюи: почему кристаллы одного и того же вещества могут принимать весьма разнообразные формы, тогда как формы растений и животных всегда носят отпечаток как бы одной и той же модели? Как увидим далее, упорные размышления на эту тему и

---

[1] Bulletin de la Société Française de Minéralogie. 1944, t. 67, pp. 106—107.

тщательное исследование кристаллов привели его к открытию теории строения кристаллов.

Знакомство с минералогией, покровительство Добантона, участие во втором издании Большой Энциклопедии открыли перед скромным преподавателем духовной Коллегии двери богатых коллекционеров и любителей минералогии. Начинающего ученого охотно привлекали для приведения в порядок и систематизации частных собраний.

Однажды, рассматривая в одной коллекции прекрасный призматический образец кальцита, Гаюи выронил его из рук и увидел, что кристалл распался на множество спайных осколков ромбоэдрической формы. Легенда гласит, что при этом Гаюи воскликнул: «Все найдено!» («Tout est trouvé!»). В этот момент в уме его блеснула догадка о законах внутреннего строения кристаллических тел. Придя домой, он тотчас же расколол имевшийся в его распоряжении скаленоэдрический кристалл кальцита и снова обнаружил все те же ромбоэдрические спайные осколки. В результате этого открытия Гаюи пришел к своей известной теории структуры кристаллов. Для ее проверки и научного обоснования ему пришлось основательно изучать геометрию и тригонометрию. В результате усиленных трудов и многочисленных наблюдений в 1784 году выходит его классическое произведение «Essai d'une théorie sur la structure descristaux» («Опыт теории структуры кристаллов» . . . См. настоящее издание, стр. 7 — 106). Книга эта произвела большое впечатление на ученых того времени.

Гаюи сразу же становится академиком, причем за неимением вакантного места он избирается по секции ботаники. Слушать его лекции в Коллегии Лемуаня специально ходят наиболее выдающиеся ученые: Лавуазье, Лагранж, Лаплас, Фуркруа, Бертолле, Гюйтон де Морво.

Ярым противником Гаюи оказался лишь его старший предшественник в области кристаллографии — знаменитый пропагандист закона постоянства углов — Ж. Б. Ромэ-Делиль (1736—1790). Старый кристаллограф ядовито напал в своей «Кристаллографии» на новейшую школу «кристаллокластов» — раскалывателей кристаллов. Упорно отказывался он вникать в сущность кристаллического строения, мотивируя это тем, что мельчайшие элементарные частицы недоступны нашим органам чувств: «Ограничимся же тем, что нам дается наблюдениями, если мы не хотим подменить плодами нашего воображения величественного молчания Природы относительно ее основных принципов».[2]

Несмотря на эти нападки, Гаюи всегда высоко ценил труды Ромэ-Делиля и в своих трудах неоднократно подчеркивал его заслуги.

Блестящие научные успехи не изменили образа жизни ученого. Он оставался все тем же скромным и застенчивым преподавателем духовной Коллегии. В посвященной его памяти речи Ж. Кювье (1769—1832) вспо-

---

[2] J. B. De Romé de l'Isle. Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du regne minéral. . . 1783, t. 1, p. 103.

минал, что светские салоны и торжественная академическая среда были для него как бы чуждой враждебной страной.«Больших трудов стоило уговорить добряка Гаюи отказаться от своего старомодного длиннополого черного одеяния, совершенно не принятого в модных салонах и вызывавшего общие насмешки».[3]

После 20-летней работы в Коллегии Лемуаня Гаюи вышел в отставку, всецело отдавшись научной работе и изредка исполняя обязанности церковнослужителя.

Наступает Великая Французская революция. В 1792 году Гаюи оказывается связанным с группой клерикалов, отказавшихся принести присягу Нации и попадает в тюрьму. От гильотины его спасает бывший его ученик по духовной Коллегии, а в будущем прославленный зоолог, «отец философской биологии» — Э. Жоффруа-Сент-Илер (1772—1844). Согласно преданию он спас своего учителя фразой: «Лучше простить упрямого аббата, чем казнить хорошего ученого».

Выйдя на свободу, Гаюи снова принялся со всей энергией за прерванную обстоятельствами научную работу. Следует заметить, что согласно указаниям его биографов, он и в тюрьме занимался разбором взятых с собой минералогических образцов. Вскоре по поручению Конвента он назначается членом Комиссии мер и весов, разрабатывающей метрическую систему под председательством А. Лавуазье.

В 1794 году Гаюи становится профессором Парижской высшей школы (École Normale) и Парижского Горного училища (École des Mines), где читает курсы физики, кристаллографии и минералогии.

В 1801 году выходит в свет его четырехтомный «Курс минералогии» (Traité de Minéralogie). В основу этого фундаментального труда Гаюи положил свою кристаллографическую теорию, создав оригинальную минералогическую систему, по идее предвосхищавшую современную кристаллохимическую систематику минералов. На обложке этого издания автор ее значится как «гражданин Гаюи» (Citoyen Haüy).

В 1802 году шестидесятилетний ученый по приказу Наполеона переведен на кафедру минералогии при Музее натуральной истории. По желанию благоволившего к нему императора он пишет свой «Элементарный курс физики», отличавшийся глубоким пониманием основных научных проблем того времени и замечательной простотой изложения. Книга эта имела большой успех и вышла в двух изданиях. Кроме этого, ему было поручено составление учебника математики. По этому поводу акад. А. Н. Крылов писал: «Замечательно, что такое поручение Наполеон возлагает не на присяжного математика, как Лагранж, Лаплас, Фурье, Монж, Прони и пр., а на аббата минералога, сумевшего внести ясность в теорию строения кристаллов, можно сказать, создав ее заново.

[3] G. Cuvier. Éloge historique de M. Haüy. Mémoire de l'Académie des Sciences. Paris, 1829, p. 8, CXIII—CL.

Ясность же в математике Наполеон ставил в первую голову».[4] В период реставрации Гаюи попадает в опалу. Ему не могут простить его успехов при Наполеоне. Под различными предлогами престарелого ученого отстраняют от исполняемых им обязанностей, в результате он впадает в глубокую нужду. В это время ему приходится содержать, помимо постоянно живших у него племянников, и своего брата Валентина, возвратившегося больным и совершенно разоренным из долголетней поездки в Россию.

Брат Гаюи, Валентин (1745—1822), известен как творец одной из первых систем обучения слепых. В течение одиннадцати лет он жил в России, где основал институт для обучения слепых. Непосильная борьба с бюрократизмом русских чиновников времени Александра I окончательно сломила его силы.[5] Достаточно отметить, что на его просьбы о присылке к нему в институт слепых детей, ему неоднократно отвечали: «В России слепых нет!»

Валентин Гаюи умер в один год со своим братом, за несколько месяцев до кончины последнего. Великий кристаллограф дожил до семидесяти девятилетнего возраста. Смерть его была связана с несчастным случаем. Старый ученый упал в своей комнате и сломал бедряную кость. Впоследствии на суставе образовался нарыв, от которого ему уже не суждено было исцелиться. Он скончался 3-го июня 1822 года. Несмотря на преклонный возраст, Гаюи до конца жизни сохранил свою творческую энергию. В год его смерти вышли в свет двухтомный «Курс кристаллографии» (Traité de Cristallographie, 1822) и новое переработанное издание четырехтомного «Курса минералогии» (Traité de Minéralogie, 1822).

В жизни Гаюи отличался скромностью, простотой и доброжелательностью. Вот как вспоминает ученого один из его слушателей: «Гаюи был самым любезным из профессоров, которых мне когда-либо пришлось встречать. Голос его был слаб, но ясен и выразителен. Его изложение отличалось изумительной доступностью. Он охотно позволял перебивать себя не только своим ученикам, но и ассистентам. Нередко приглашал он меня в свой скромный кабинет, вся мебель которого состояла из нескольких соломенных стульев, соснового бюро, украшенного распятием, и небольшой конторки. . .».[6] Сохранились воспоминания о том, как Гаюи во время своих обычных прогулок по Ботаническому саду любил беседовать с знакомыми и незнакомыми посетителями, предлагая им входные билеты в музейные залы, давая научные объяснения и даря на память кусочки минералов.[7] Отечески добрым был он и по отношению к своим

[4] Акад. А. Н. Крылов. Мои воспоминания. Ст. «Наполеон и наука». Изд. АН СССР, 1945, стр. 351.

[5] A. Lacroix. Les deux frères Haüy. Bull. de la Soc. Franc. de Minéralogie. T. 67. Paris, 1944, pp. 338—344.

[6] A. Lacroix. La vie et l'oeuvre de R. J. Haüy. Bull. de la Soc. Franç. de Minéralogie. T. 67, 1944, pp. 68—69.

[7] Там же, стр. 86.

студентам. Помимо лекций, ученый любил организовывать посещения музея, подолгу задерживаясь в залах с гобеленами и панорамами. Когда его слабое здоровье препятствовало таким экскурсиям, он заменял их демонстрациями интересных физических опытов. В конце каждой лекции Гаюи раздавал своим ученикам небольшие образцы тех минералов, о которых шла речь.[8] Несмотря на всю свою любовь к кристаллам и минералам, ученый никогда не собирал для себя богатых минералогических коллекций. Все ценные штуфы передавались им в музей. У себя он оставлял только маленькие образцы и главным образом кристаллы для измерения и описания (среди последних было много уральских и сибирских минералов). Эта историческая коллекция после смерти Гаюи была по дешевой цене куплена одним англичанином, а затем снова перепродана во Францию, в Музей натуральной истории.

Всю свою жизнь Гаюи провел в Париже. «Возможно, что ни один удар молотка не был им произведен за пределами его комнаты», — писали его биографы. Приборы, с которыми он работал, отличались исключительной простотой: ученый вполне довольствовался прикладным гониометром, лупой и паяльной трубкой. В этом отношении Гаюи доходил даже до странности, оставаясь верным своему примитивному прикладному гониометру и не желая слышать о точном отражательном гониометре Волластона.[9]

Переходя к обзору творчества Р. Ж. Гаюи, остановимся вкратце на его предшественниках по созданию теории структуры кристаллов.

Попытки истолкования внешнего огранения кристаллов с помощью их внутренней геометрии уходят в глубокую древность. Первые формулировки таких воззрений относятся к семнадцатому столетию. В самом общем, хотя и очень смутном виде, об этом писал уже французский философ П. Гассенди (1592—1655), согласно которому «кристаллические многогранники являются выразителями форм атомов данного тела». Исходя из положения Гассенди, многочисленные натуралисты пытались представить себе форму самих атомов, выводя ее из внешней формы кристаллов. Некоторые ученые во главе с И. Кеплером (1571—1636), Р. Гуком (1635—1703) и М. В. Ломоносовым (1711—1765) приписывали элементарным частицам кристаллов сферическую форму, отчасти предвосхищая современную нам теорию об атомных и ионных сферах. Х. Гюйгенс (1629—1695), а позже В. Г. Волластон (1766—1828) мысленно строили кристаллические тела из частиц в виде эллипсоидов. Наконец, прямым предшественникам Гаюи — Д. Гуглиельмини (1655—1710) и Т. Бергману (1735—1784) — внешнее огранение кристаллов внушило представление о многогранной форме самих атомов или молекул. Несмотря на разнообразие этих гипотез, все они сводятся в конце концов к одной и той же мысли о строго законо-

---

[8] Там же, стр. 77.
[9] Там же, стр. 87.



Ренэ Жюст Гаюи (1743—1822 гг.)

мерном относительно друг друга расположении элементарных частиц, слагающих кристаллические тела. Особенно четко эта мысль была выражена в «Оптике» И. Ньютона. Впоследствии данная мысль легла в основу теории решетчатого строения кристаллов, на которую в основном и сейчас опирается структурная кристаллография. Из всех этих ранних попыток, стремившихся объяснить внутреннее строение кристаллов, особого внимания заслуживает трактат «О шестиугольном снеге» гениального Иоганна Кеплера (1619 г.). Несмотря на шутливую форму, мы здесь находим понятия о пространственных шаровых упаковках, о многогранниках, получающихся при всестороннем сжатии таких шаров, и т. п. Многое, лежащее сейчас в основе современной кристаллографии (принцип плотнейших шаровых укладок, параллелоэдры и др.), нашло свое первое выражение в изумительном «шуточном подарке» великого математика.

Мысль о том, что все формы кристаллов можно вывести из сложения шаровых частиц, снова выдвигается в «Микрографии» Р. Гука (1665). Прекрасные гравюры этой исторической книги наглядно иллюстрируют его идею. Однако Гук ограничивается лишь рассмотрением расположения шаров на плоскости. Чрезвычайно остроумна гипотеза Х. Гюйгенса, выводящая форму и особенности кальцита из укладки эллипсоидов.

В 1749 году М. В. Ломоносов в своей «Диссертации о рождении и природе селитры» объясняет шестиугольную форму кристаллов калиевой селитры плотнейшим расположением шаровых корпускул. Здесь он ограничивается рассмотрением лишь двух шаровых конфигураций: треугольной или ромбической (плотнейшей) и квадратной (разреженной). Однако на рисунке, приложенном к «Рассуждению о твердости и жидкости тел» (1760), Ломоносов изображает уже пространственное расположение центров для шаров, образующих плотнейшую упаковку. Это расположение отвечает кубической центрогранной решетке. Такую структуру он приписывал шестиугольным кристаллам селитры, кварцу и алмазу (в связи с треугольными гранями последнего). В случае квадратного расположения шаров на плоскости возникает простая кубическая решетка, наличие которой Ломоносов предполагал для всех кристаллов с квадратными гранями, например для кубов поваренной соли. Разбивка Ломоносовым мира кристаллов на два типа отчасти предвосхищает знаменитый закон кристаллографических пределов Е. С. Федорова, согласно которому все кристаллы по своим углам приближаются либо к кубическим, либо к гексагональным. К сожалению, Ломоносов сформулировал свои основные мысли о строении кристаллов лишь в двух небольших отрывках.

В 1773 году Т. Бергман описал спайность кальцита и указал на возможность получения призматических кристаллов этого минерала из ромбоэдрического ядра путем параллельного передвижения граней. Однако он ограничился лишь частными примерами и не дал общей теории строения кристаллов.

Для получения хотя бы некоторого представления о взглядах, существовавших до Гаюи, относительно строения кристаллов в настоящем издании приводятся соответственные тексты Р. Гука, И. Ньютона, Х. Гюйгенса, М. В. Ломоносова и Т. Бергмана. Просмотр этих текстов показывает, что несмотря на ряд гениальных высказываний и тонких наблюдений, все же единой и цельной теории строения кристаллов до Гаюи не существовало. По меткому выражению последнего это были лишь «блестящие эскизы».

Первая по времени теория структуры кристаллов, бесспорно, принадлежит французскому кристаллографу — Рэне Жюст Гаюи. Наиболее раннее изложение этой теории дано в его небольшой книжке, изданной в 1784 году под названием«Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée á plusieurs genres de substances cristallisées». (Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к разнородным кристаллическим веществам). В настоящем издании приведен полный текст этого сочинения.

Окончательное развитие теории находится в двухтомном «Курсе кристаллографии» (Traité de Cristallographie), увидевшем свет в год смерти его создателя (1822).

Как указывалось выше, с первых же шагов на научном поприще Гаюи особенно заинтересовался вопросом о различии кристаллических форм в кристаллах одного и того же вещества. Можно сказать, что все его дальнейшее творчество было устремлено главным образом в направлении разрешения этой загадки. Начиная изложение своей теории, Гаюи прежде всего подчеркивает основные трудности в деле изучения кристаллов. Он указывает, что учение о минералах ограничено количеством видов, значительно уступающим количеству животных и растений, и в этом отношении требует меньших умственных усилий. Однако разнообразие форм, относящихся к одному и тому же кристаллическому веществу, представляет трудно преодолимое препятствие. В животном и растительном мире различные представители одного и того же вида носят как бы явный отпечаток общей модели. Совершенно обратное явление наблюдается в кристаллах. Кристаллические разновидности одного и того же вещества с первого взгляда, казалось бы, не имеют между собой ничего общего. Мало того, то общее, что иногда улавливается между ними, в некоторых случаях становится источником новых затруднений. Так, например, Гаюи отмечает наличие трех различных ромбоэдров кальцита, отличающихся друг от друга по своим углам и по степени своей сплющенности вдоль главной оси. По его мнению, эта разница в углах аналогичных форм, очевидно, образованных совершенно сходными частицами, представляет факт еще более поразительный, чем общая разница, имеющая место для различных разновидностей того же кальцита.

Основной целью своего труда Гаюи считает выяснение вышеотмеченного контраста и выявление тех законов, с помощью которых природа достигает упомянутого разнообразия форм. Как известно, ответ на инте-

ресовавший его вопрос, а вместе с тем и ключ к теории строения кристаллов был им найден с помощью явления спайности. В своем двухтомном «Курсе» Гаюи весьма подробно описал историю сделанного им открытия и иллюстрировал его рядом рисунков, изображавших последовательные результаты раскалывания кристалла кальцита. Пользуясь этими изображениями, а также современной кристаллографической номенклатурой, поясним ход его наблюдений и выводов. В руках у Гаюи был кристалл

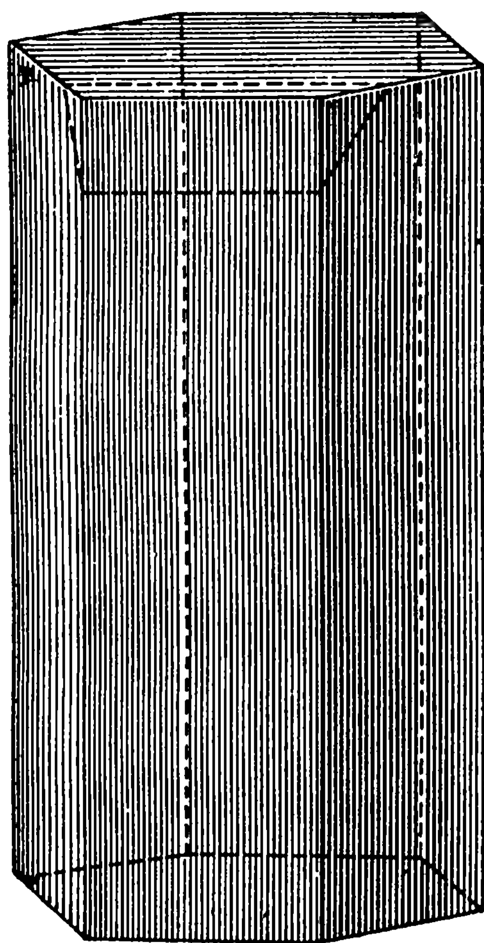


Рис. 1.

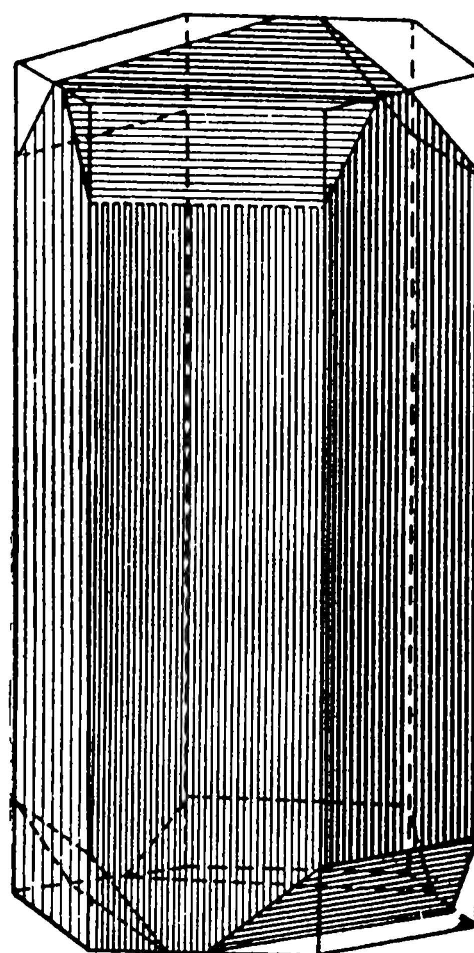


Рис. 2.

известкового шпата в форме гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ с пинакоидом $\{0001\}$ (рис. 1). Кристалл оказался отколотым от штуфа по спайной плоскости ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$ (на рис. 1 площадка в виде трапеции, соответствующая плоскости спайности, изображена пунктиром). С помощью лезвия ножа Гаюи удалось увидеть на кристалле остальные плоскости спайного ромбоэдра (рис. 2, 3, 4). В результате дальнейшего откалывания слоев по спайности грани ромбоэдра, имевшие первоначально форму трапеций, превратились в пятиугольники. При этом грани гексагональной призмы также получили пятиугольные очертания (рис. 3). При дальнейшем раскалывании кристалла по тому же способу грани призмы стали сходить на нет, а грани ромбоэдра заняли первенствующее положение (рис. 4). Конечным результатом раскалывания явилось «ромбоэдрическое ядро», изображенное на рис. 5. Гаюи отмечает, что наблюдение, давшее ключ к теории, не было подготовлено специально, а представилось как бы само собой.

От кальцита естественно было перейти к другим кристаллам минералов. Соответственные наблюдения позволили ученому прийти к следующим выводам. Сходные опыты, произведенные на кристаллах нескольких других веществ, дали ядра иной формы. Однако форма таких ядер оставалась неизменной для кристаллов одного и того же рода. На основании опытов, произведенных над упомянутыми кристаллами, а также на основании аналогий для кристаллов, не поддававшихся разделению вследствие их твердости, Гаюи счел возможным установить общий принцип, согласно которому все разновидности одного кристаллического вещества заключают в себе, как ядро, часть кристалла, обладающую «примитивной и первоначальной формой своего рода». Форма ядра может быть вскрыта путем постепенного откалывания покрывающих его слоев. Именно таким путем Гаюи нашел пять типов упомянутых ядер. Формы их соответствуют параллелепипеду, октаэдру, тетраэдру, гексагональной призме и ромбододекаэдру.

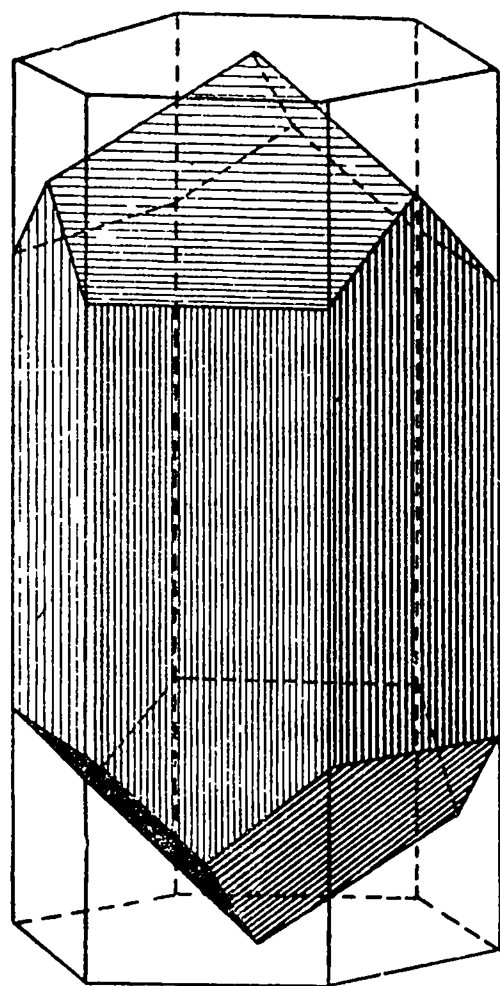


Рис. 3

Дальнейшее деление примитивных форм вдоль плоскостей, параллельных их граням, приводит в конце концов к предельно малым многогранникам, которые Гаюи назвал «интегрирующими молекулами». Согласно его взглядам, эти частицы так малы, что их дальнейшее деление приводит к нарушению природы вещества. «Быть может, — замечает он, — именно эти молекулы находятся во взвешенном состоянии в растворе, откуда происходит кристаллизация». Формы интегрирующих молекул соответствуют трем типам: тетраэдру, или простейшей (по числу граней) пирамиде, трехгранной, т. е. простейшей же, призме и параллелепипеду — простейшему из всех многогранников с попарно параллельными гранями. Эти формы, ограниченные четырьмя (тетраэдр), пятью (трехгранная призма с пинакоидом) и шестью (параллелепипед) гранями, являются одновременно и простейшими замкнутыми многогранниками по числу граней. Рассмотрим, каким образом эти многогранники получаются при делении перечисленных выше пяти примитивных форм.

Легко представить, что, раскалывая параллелепипед по плоскостям, параллельным его граням, мы всегда придем к более мелким параллелепипедам. Получение остальных примитивных форм — более сложное явление. Примитивное ядро в форме гексагональной призмы путем разделения по плоскостям, параллельным граням, распадается на шесть тригональных призм (основания призм — правильные треугольники). Аналогичным образом плоскости, параллельные шести парам взаимно параллельных граней ромбододекаэдра, рассекают последний на двадцать

четыре равных четырехгранника, которые Гаюи называл «тетраэдрами». Гранями их являются равнобедренные треугольники.

Большое затруднение представило для Гаюи истолкование структуры кристаллов с примитивными формами в виде правильных октаэдров и тетраэдров. Случай октаэдра, соответствующего основному ядру плавикового шпата (флюорита), особенно долго привлекал внимание Гаюи. Разрезав октаэдр плоскостями, параллельными его граням и проходящими

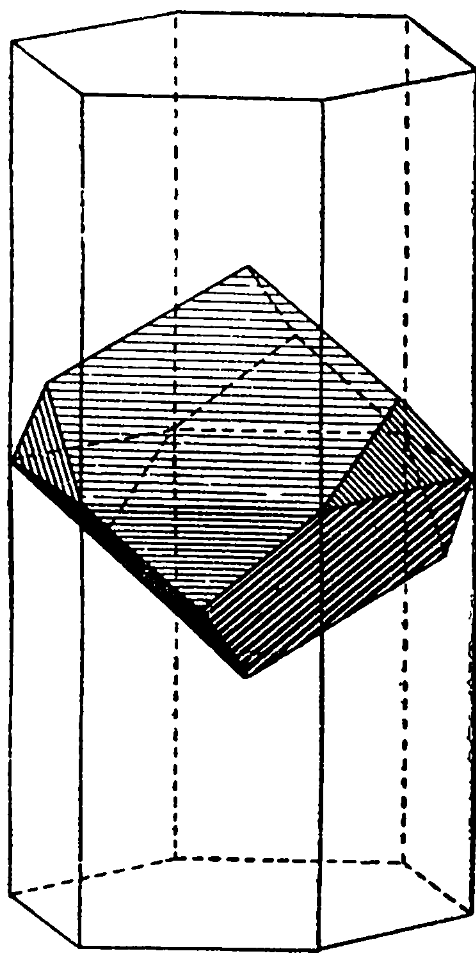


Рис. 4.

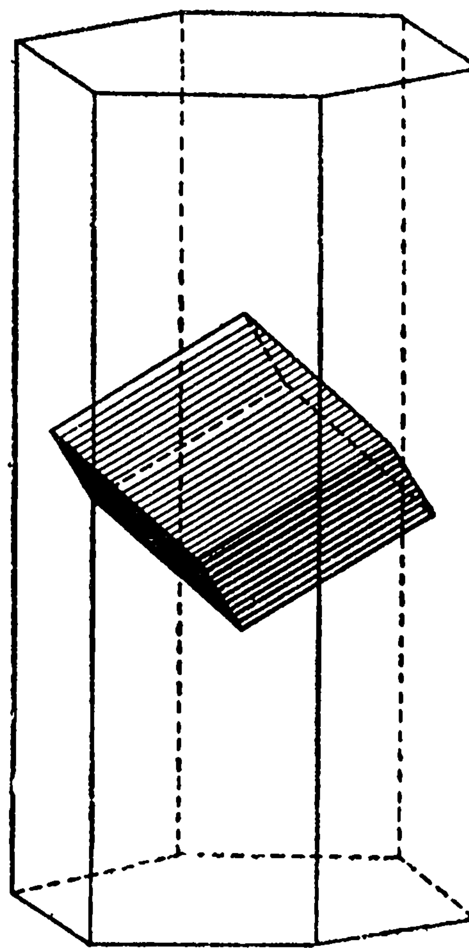


Рис. 5.

через середины его ребер, получим шесть новых октаэдров и восемь правильных тетраэдров. Одна из вершин каждого нового октаэдра совпадает с одной из шести вершин основного октаэдра (рис. 6). Внешние грани восьми тетраэдров совпадают с серединами граней того же октаэдра. Обращенные внутрь вершины всех составных октаэдров и тетраэдров соединяются в центре исходного октаэдра. Таким же образом, рассекая тетраэдр плоскостями, параллельными его граням и проходящими через середины ребер, получим четыре новых тетраэдра и один центральный октаэдр. Объем каждого из составных тетраэдров равен $\frac{1}{8}$ основного тетраэдра. Центральный октаэдр равен по объему половине того же тетраэдра. Возвращаясь к случаю октаэдра, заметим, что дальнейшее деление шести составных октаэдров и восьми тетраэдров приведет к новым октаэдрам и новым тетраэдрам. В конечном итоге получим совокупность октаэдров и тетраэдров, где каждый октаэдр окружен восьмью тетраэдрами, а каждый тетраэдр, в свою очередь, четырьмя октаэдрами. Тетраэдров в два раза больше, чем октаэдров. Однако в связи с тем, что объем тетра-

эдра в четыре раза меньше объема соответственного октаэдра, первые занимают в общей совокупности вдвое меньшее пространство, чем вторые.

Наличие в основном ядре плавикового шпата октаэдрических и тетраэдрических участков, казалось бы, должно было натолкнуть Гаюи на мысль о присутствии здесь двух сортов интегрирующих частиц. Если бы в то время был известен истинный состав флюорита — CaF_2, Гаюи, без сомнения, совместил бы частицы кальция с октаэдрами, а вдвое большее количество частиц фтора — с тетраэдрами своей модели и тем самым вплотную подошел бы к реальной структуре плавикового шпата за сто

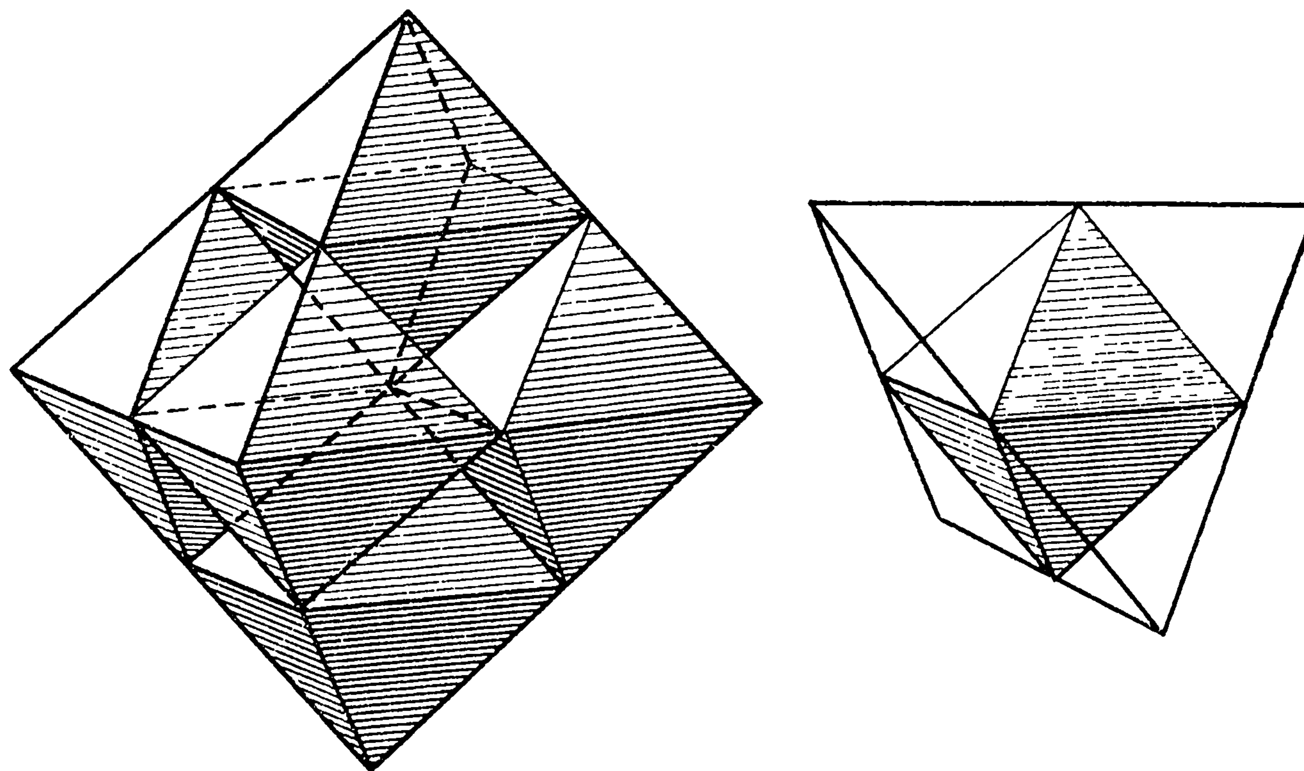


Рис. 6.

тридцать лет до Брэггов. Однако двойственность природы интегрирующих молекул в одном и том же кристалле казалась в то время немыслимой. Поэтому Гаюи остановился в недоумении перед этой загадкой. Путем искусственных рассуждений он пытался найти выход из создавшегося затруднения, совмещая интегрирующие молекулы с тетраэдрами и оставляя незаполненными октаэдры (в другом варианте заполняются октаэдры, а тетраэдры остаются пустыми). Несмотря на это, нельзя все же не подчеркнуть того, что путем простого наблюдения спайности Гаюи более полутораста лет тому назад был на пороге открытия реальной структуры флюорита!

Итак, подробный просмотр вопроса о делении примитивных форм на интегрирующие молекулы показал, что последние соответствуют лишь параллелепипедам, тригональным призмам и тетраэдрам (иногда Гаюи присоединял к ним и октаэдры).

Анализ таких фигур показывает, что все они могут складываться в параллелепипеды. В самом деле две тригональные призмы легко сложить так, что они дадут ромбическую призму. Основание последней образует ромб с углами в 120 и в 60°. Таким же образом шесть «тетраэдров», полу-

чающихся при делении ромбододекаэдра, можно сгруппировать в виде ромбоэдра. Грани последнего имеют те же углы, что и ромбы, ограничивающие додекаэдрическое ядро. В случае октаэдрического ядра Гаюи обращает внимание на то, что совокупность октаэдра и двух тетраэдров, помещенных на двух противоположных октаэдрических гранях, опять-таки соответствует ромбоэдру (рис. 7). Следовательно, во всех случаях, группируя соответственным образом интегрирующие молекулы, мы приходим к параллелепипедам. Такие параллелепипеды Гаюи называет «молекулами убывания» (Molécules soustractives). Они-то и представляют, по его мысли, те мельчайшие молекулярные кирпичики, которые слагают в совокупности кристаллы, наподобие кирпичей в кирпичной кладке. Придя к выводу о наличии в каждом кристалле совокупностей маленьких параллелепипедов, равных между собой и смежных по целым граням, Гаюи тем самым положил первую основу для теории решетчатого строения кристаллов, согласно которой кристаллические структуры соответствуют параллелепипедальным системам точек. Как известно, развитие этой теории связано с именем О. Браве (1811—1863). Из вышесказанного видно, что своим зарождением современная структурная кристаллография в основном обязана Гаюи.

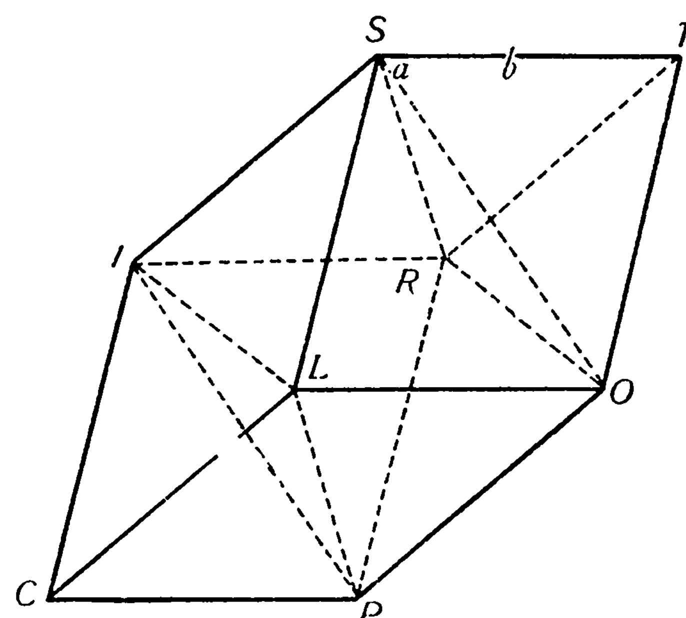


Рис. 7

После краткого обзора учения Гаюи об элементарных частицах, слагающих кристаллические тела, вернемся к вопросу о различии внешних форм кристаллов одного и того же вещества. Сам Гаюи отмечал, что с помощью этих молекул теория приходит к простым законам относительно различных метаморфоз в кристаллах.

Для выяснения этих законов Гаюи пытается реконструировать кристалл, идя путем прямо противоположным тому, с помощью которого он подошел к молекулярным многогранникам. Выше описывалось, каким образом можно выделить из кристалла его ядро (примитивную форму). Это достигалось путем откалывания от кристалла последовательных пластинок слоев, параллельных граням ядра. По мере приближения к ядру размеры отделяемых пластин в общем увеличивались. Ясно, что при реконструкции кристалла следует накладывать на ядро те же пластины, но в обратном порядке. По мере удаления от ядра размеры их будут убывать.

В качестве простейшего примера разберем построение ромбододекаэдра из кубических интегрирующих молекул, приняв за основу ядро в форме куба (рис. 8). Изображенное на рисунке кубическое ядро состоит из маленьких равных кубиков. Вдоль каждого ребра основного куба расположено 17 интегрирующих молекул. Наложим на одну из граней

основного куба квадратный слой интегрирующих молекул, каждая сторона которого содержит 15 маленьких кубиков, равных составным кубикам ядра. На этот слой поместим второй квадратный же слой, имеющий вдоль своей стороны 13 кубиков. Далее будем продолжать такое наложение постепенно убывающих слоев до тех пор, пока не придем к последнему слою, содержащему всего-навсего один интегрирующий кубик. В резуль-

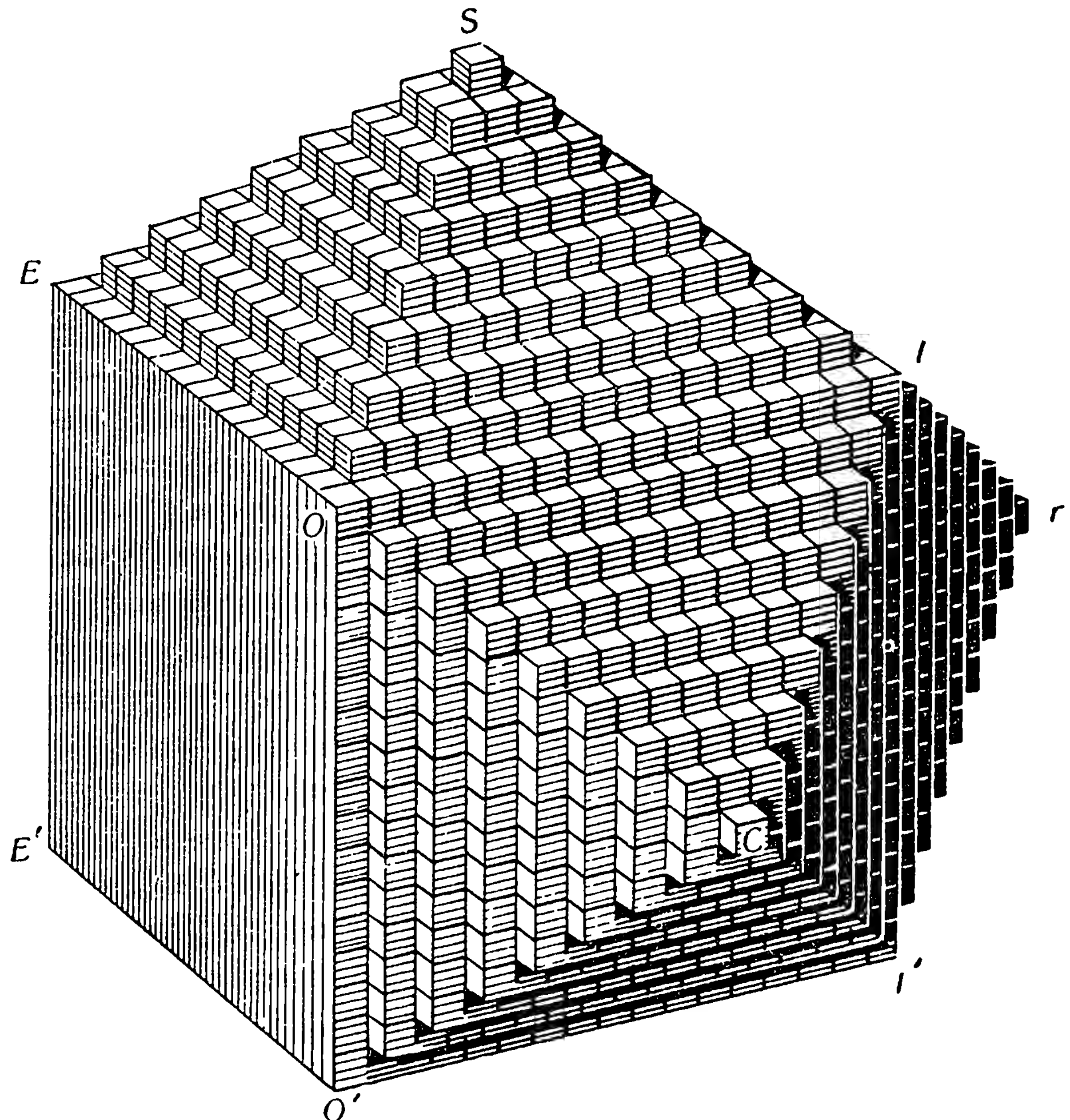


Рис. 8.

тате такой операции на грани основного куба получилась квадратная пирамида, основанием которой служит грань кубического ядра, а вершиной — единственный интегрирующий кубик последнего слоя. Проделав такое же наложение слоев на остальных пяти гранях основного куба, получим пять аналогичных пирамид, окружающих исходное ядро.

Как видно на рис. 8, грани построенных пирамид не являются истинными плоскостями, а представляют собой подобие ступенчатых лестниц с входящими углами. Однако в связи с предельно малыми размерами интегрирующих молекул отдельные ступеньки не будут улавливаться. Совокупности их представятся в виде плоских граней. Легко увидеть, что 24 грани построенных пирамид сливаются по две в двенадцать равных ромбов, образующих грани ромбододекаэдра. С помощью наложения

тех же интегрирующих кубиков на основное кубическое ядро можно получить и другие формы кристаллов. Разнообразие таких форм зависит от тех законов, по которым убывают слои интегрирующих молекул.

На рис. 9 изображено построение из кубиков пентагон-додекаэдра. Здесь слои, налегающие на исходный квадрат кубического ядра, образуют как бы четыре лестницы. Две из них, направленные от двух противоположных сторон квадрата, образуют ступеньки, ширина которых вдвое превышает высоту. Напротив, ступеньки двух лестниц, идущих от второй пары сторон квадрата, имеют высоту, вдвое превышающую ширину. Таким образом, первые две лестницы поднимаются в четыре раза медленнее, чем две вторые. Совокупности описанных ступенек образуют грани пентагон-додекаэдра (так же, как и в случае ромбододекаэдра, грани эти кажутся плоскими в связи с ничтожными размерами интегрирующих молекул).

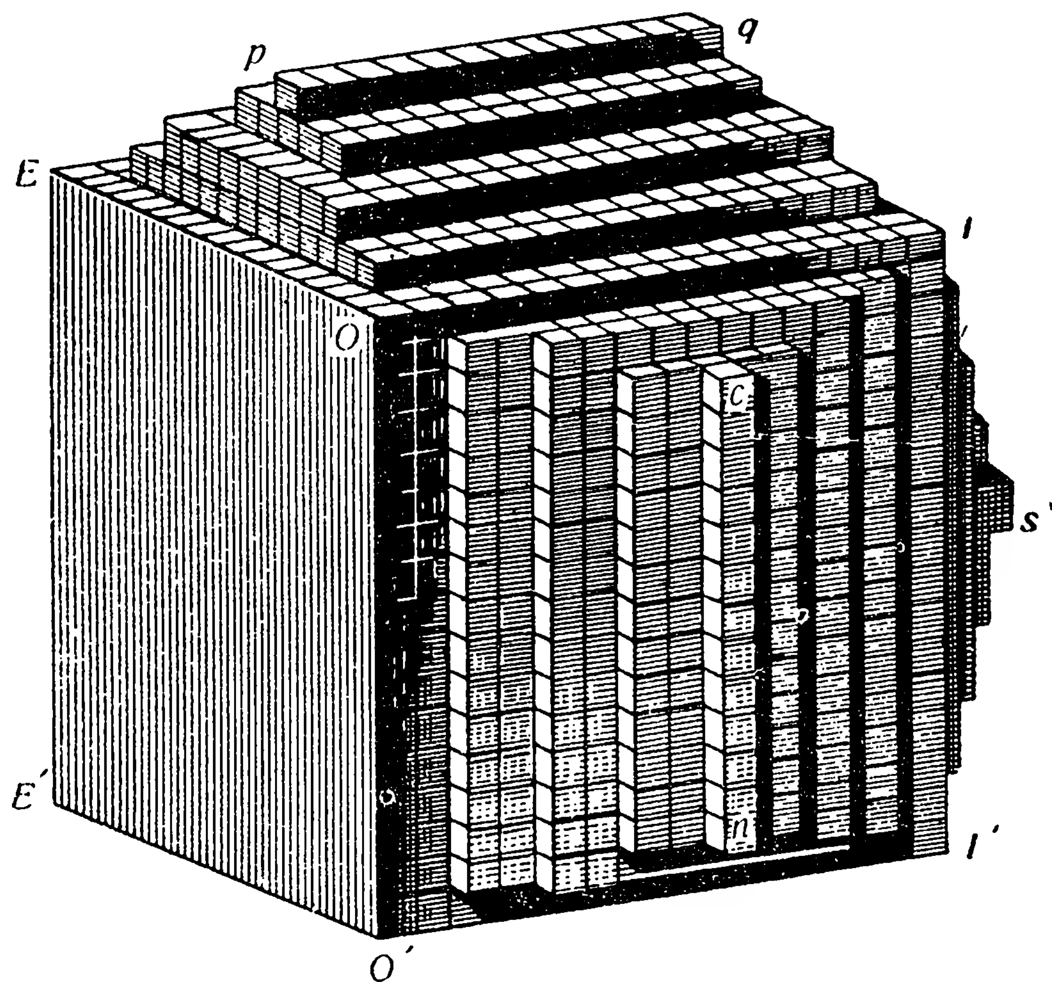


Рис. 9.

Полученный пентагон-додекаэдр с первого взгляда напоминает правильный додекаэдр геометров, с которым его нередко отождествляли минералоги. Изменяя высоту и ширину ступенек из кубических молекул, можно получить различные типы пентагон-додекаэдров. Однако, как доказал Гаюи, ни один из законов убывания слоев не приводит к образованию правильного додекаэдра. Последний, следовательно, не имеет места в кристаллографии. Это утверждение Гаюи, вошедшее в плоть и кровь современной кристаллографии, в свое время было совершенно неожиданным. И. Кеплер, говоря о кристаллических телах, ссылался на некую фантастическую «образующую силу», которая «. . . находится во внутренностях земли и подобно рождающей жене производит пять правильных геометрических тел в формах драгоценных камней».[10] К этим пяти телам принадлежат: кубический тетраэдр, куб, октаэдр, правильный додекаэдр и икосаэдр. Незадолго до Гаюи знаменитый немецкий минералог А. Г. Вернер (1750—1817) к числу основных форм кристаллов, наряду с гексаэдром,

[10] В. Уэвель. История индуктивных наук. Перевод М. А. Антоновича, 1869, стр. 264.

пирамидой, столбиком, табличкой и линзой, причислял не существующие в кристаллографии икосаэдр и правильный пентагональный додекаэдр. (Классификация Вернера имела самое широкое распространение и долгое время держалась в минералогической литературе).

До сих пор мы имели дело с построением кристаллических форм из кубических молекул, налегающих на кубическое же ядро. На рис. 10 изображено построение дитригонального скаленоэдра кальцита путем убывания слоев ромбоэдрических молекул, ложащихся на основное ромбоэдрическое же ядро.

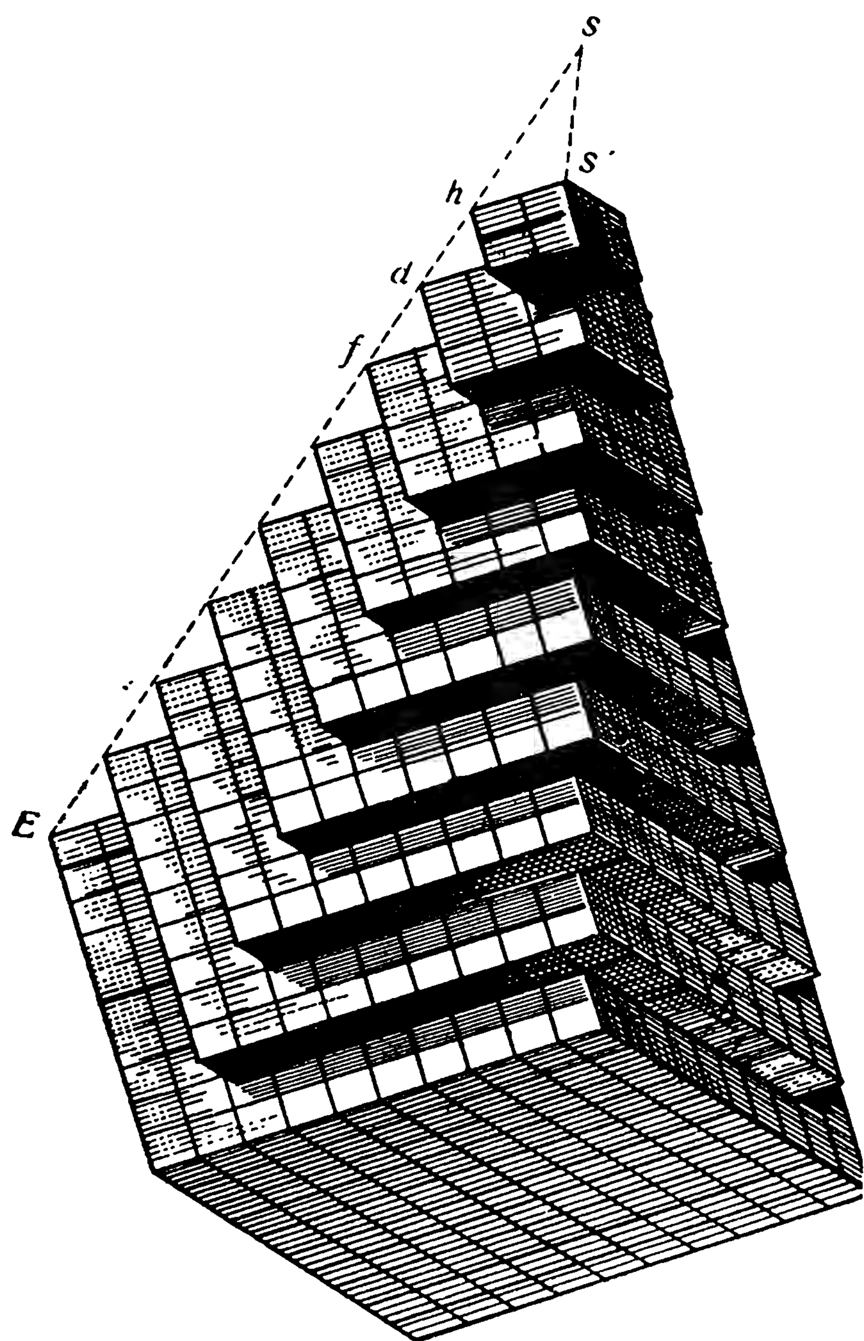


Рис. 10.

Рассмотренные выше примеры, согласно Гаюи, относятся к так называемым законам «убывания по ребрам». Действительно, в случае построения ромбододекаэдра и пентагон-додекаэдра каждый новый вышележащий слой отличается от нижнего слоя тем, что в нем содержится на один или на несколько рядов меньше интегрирующих кубиков, причем все эти ряды идут параллельно ребрам квадратной грани исходного ядра. Аналогичное явление имеет место и для скаленоэдра кальцита.

В отличие от законов «убывания по ребрам» Гаюи выделил законы «убывания по углам». Сюда относится случай построения октаэдра с помощью кубических молекул на основе кубического же ядра. (Реальным примером такого случая, по мнению Гаюи, являются октаэдры поваренной соли, получающиеся при добавлении к раствору мочевины). При таком построении в каждом последующем квадратном слое приходится удалять молекулярные кубики, начиная от угла квадратного слоя. Так, в первом слое, налегающем на квадратную грань ядра, возле вершины квадрата удаляется один интегрирующий кубик. Следующий слой отличается от предыдущего отсутствием возле вершины квадрата трех интегрирующих кубиков: один из них лежит, как и раньше, у самой вершины, два других находятся по соседству с ним вдоль ряда, параллельного диагонали квадрата. В третьем слое возле вершины квадрата отсутствует уже шесть интегрирующих молекул: три из них расположены так же, как и во втором слое, а три других лежат в следующем ряду, опять-таки

параллельном диагонали квадратной грани. Дальнейшее построение слоев идет по тому же правилу.

Итак, в разбираемом случае последовательные квадратные слои убывают не по сторонам квадратов, как это было выше в случаях ромбододекаэдра и пентагон-додекаэдра, а от их углов вдоль рядов молекул, параллельных диагоналям граней. Совокупности таких слоев опять-таки можно сравнить с лестницей, однако ступеньки последней не образуют здесь прямых углов, а напоминают нечто вроде зубьев пилы.

Грани, полученные описанным выше способом, представляют совокупности множества выступов, принадлежащих свободным вершинам интегрирующих кубов. Согласно Гаюи, такие выступы не улавливаются вследствие предельно малой величины молекул, и поэтому грани представляются нам в виде плоскостей.

Помимо разобранных законов убывания, Гаюи отмечает еще и другие случаи «промежуточного» и «смешанного» убывания, которые мы здесь опускаем.

Законы убывания молекул в огромном большинстве случаев являются чрезвычайно простыми. Вот как пишет об этом сам ученый: «Несмотря на то, что до сих пор мне приходилось наблюдать только убывания, происходящие путем удаления одного, двух или реже трех рядов молекул, можно предположить, что существуют кристаллы, в которых при каждом убывании снимается четыре, пять и более рядов молекул.

Мне кажется, что эти случаи встречаются тем реже, чем больше число удаленных рядов, так как образование кристалла при этом все больше отклоняется от самого простого, правильного и, как мы могли убедиться, самого обычного закона убывания» (см. стр. 35). В приведенной цитате дана первая по времени формулировка основного закона кристаллографии, известного теперь под названием «закона Гаюи». Этот закон ограничивает возможность появления сложных вторичных форм, получаемых из первичного ядра. На его основании можно предсказывать теоретически, какие формы будут наиболее вероятными для того или иного кристалла.

Первенствующее значение целых и малых чисел невольно приводит на память известный закон кратных отношений Дальтона. (Если два элемента образуют друг с другом несколько химических соединений, то на постоянное количество одного из них приходятся разные количества другого, относящиеся друг к другу как целые и притом обыкновенно небольшие числа). Это сходство особенно бросается в глаза, если вспомнить современную формулировку закона Гаюи. (Двойные отношения отрезков, отсекаемых двумя любыми гранями кристалла на пересекающихся ребрах его, равны отношению целых и обычно малых чисел).

Отмеченное сходство двух законов не является случайным. Гаюи и Дальтон (1766—1844) были современниками, оба основывали свои теоретические высказывания на одной и той же гипотезе — гипотезе строения материи из мельчайших элементарных частиц (атомов, молекул). Закон

Дальтона сводится в общем к тому, что в состав химической молекулы обычно входит очень небольшое число атомов. В свою очередь, по закону убывания Гаюи число элементарных частиц, присоединяющихся друг к другу при образовании ступенек в кристаллических постройках, также очень невелико.

Для полноты образа теории Гаюи необходимо остановиться на его законе симметрии.

Приведем соответствующую цитату из «Курса кристаллографии». «Законы убывания подчиняются другому закону, который мы назовем законом симметрии. Согласно требованию этого закона, на всех идентичных частях ядра одновременно повторяется один и тот же род убывания частиц. Идентичные части ядра обладают между собой таким сходством, что при их взаимной замене путем перемещения ядра относительно глаза облик ядра будет казаться неизменившимся».[11] Так, например, при убывании частиц на одном из ребер куба или на одной из его вершин подобное же убывание будет наблюдаться и на всех других его ребрах или вершинах. Этим, по сути дела, и ограничивается все то, что Гаюи подразумевал под симметрией кристаллов. Следует, однако, иметь в виду, что до него вообще не обращалось внимания на эту основную особенность кристаллических тел.

Любопытно отметить, что неодинаковость двух концов турмалина Гаюи рассматривал как исключение из закона симметрии и приписывал это явление влиянию посторонних причин, связывая с ними и пироэлектрические свойства турмалина.[12]

Исходя из своего закона симметрии, Гаюи создал особые символы для точного обозначения кристаллических форм. Он первым осознал необходимость математически точных характеристик для форм кристаллов и с этой целью разработал свою систему символов. Сейчас эта отошедшая в область истории система представляет для нас интерес потому, что она всецело основана на теории кристаллического строения Гаюи. Символы Гаюи являются в своем роде «структурными символами».

Как указано выше, по теории Гаюи кристаллы слагаются из элементарных многогранников. Такие частицы, присоединяясь друг к другу, образуют на основных гранях кристалла постройки в виде ступенчатых лестниц. Поднимаясь от одной ступеньки к другой, мы констатируем закономерное

---

[11] Traité de Cristallographie, стр. 196.

[12] Гаюи чрезвычайно интересовался электрическими явлениями, происходящими на кристаллах, и проводил много опытов в этой области. Он усиленно пропагандировал во Франции труды петербургского академика Ф. У. Т. Эпинуса (1725—1802), прославившегося изучением пироэлектричества на турмалине. В 1817 году Гаюи опубликовал сообщение «Об электричестве, полученном с помощью давления», обратив тем самым внимание на явление пьезоэлектричества. В 1819 году он сообщил об открытии трибоэлектричества.

убывание частиц, входящих в состав ступенек. Каждой кристаллографической форме отвечает свой строго определенный «закон убывания». С помощью законов убывания Гаюи и разработал свою кристаллографическую символику. В основу ее он кладет упомянутые выше примитивные формы. Вершины и ребра примитивной формы обозначаются специальными буквами (симметричным частям приписываются одинаковые буквы). Буквы сопровождаются цифрами, характеризующими закон убывания, имеющий место для того или иного ребра или вершины и дающий в результате ту или иную вторичную форму.

Вершины параллелепипеда обозначены гласными буквами, следуя алфавиту: A, E, I, O. Ребрам соответствуют согласные буквы: B, C, D, G, H. Грани основной формы отмечены буквами P, M, T — начальные буквы слогов в слове Primitiv (рис. 11).

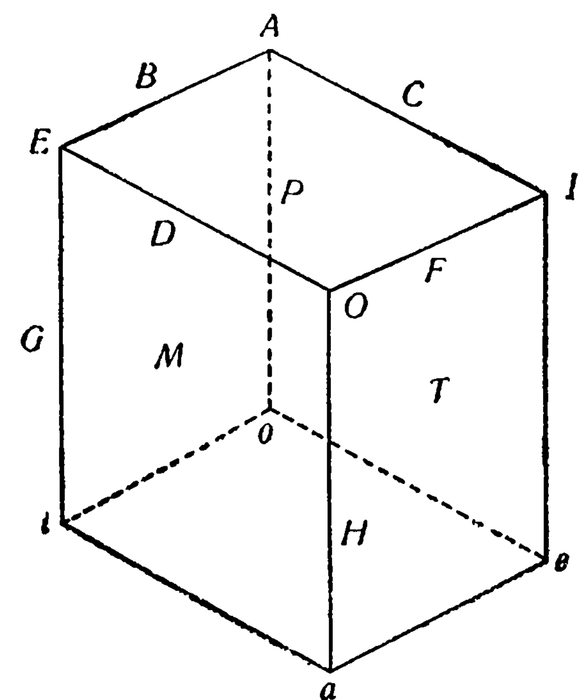


Рис. 11

Пусть вершина O рассматриваемого параллелепипеда притуплена гранью вторичной формы. Такая грань может получиться путем убывания по направлению к грани P, T либо M. В первом случае цифра ставится над буквой, во втором — справа от нее, в третьем — слева. Например, символ $\overset{2}{O}$ указывает на убывание в два ряда шириной параллельно диагонали EI основной грани P. Таким же образом O^3 соответствует убыванию в три ряда параллельно диагонали Ia грани T. Наконец, ${}^4O$ обозначает убывание в четыре ряда по диагонали Ea грани M.

Убывание частиц по ребрам B, C, D, F также обозначается соответственно расставленными цифрами. Например, $\overset{2}{D}$ обозначает убывание в два ряда, направленное от ребра к C; $\underset{3}{D}$ — убывание в три ряда, идущие от ребра D к грани M; ${}^4H$ — убывание в четыре ряда, направленное от H к G, и т. д.

Выше указывалось, что символы Гаюи представляют интерес как первая попытка обозначения внешних форм с помощью примитивной формы, т. е. внутреннего строения кристаллов.

В дальнейшем учение о кристаллографических символах базировалось на законе рациональности отношений параметров, отвечающем вышеупомянутому закону Гаюи, хотя и сформулированному в иных словах. Из курса элементарной кристаллографии известно, что, исходя из этого закона, мы выбираем за кристаллографические оси ребра кристаллов (или оси симметрии) и вычисляем двойные отношения отрезков, отсекаемых гранями на данных осях. При этом одна из граней, пересекающая координатные оси, принимается за единичную (отрезки, отсекаемые ею на коорди-

натных осях, являются единицами измерения или масштабами для соответствующих осей).

Заканчивая обзор кристаллографического наследия выдающегося французского ученого, отметим жизненность его основных идей, лежащих и сейчас в основе современной структурной кристаллографии.

Выше уже указывалось, что вывод Гаюи о наличии в каждом кристалле совокупностей маленьких параллелепипедов, равных между собой и смежных по целым граням, явился первоосновой для теории решетчатого строения кристаллов.

Учение великого русского кристаллографа Е. С. Федорова (1853—1919) о кристаллической структуре во многом родственно теории Гаюи. Напомним, что в основу этого учения положены параллелоэдры — многогранники с попарно параллельными гранями, нацело выполняющие пространство, при условии равенства, параллельности в ориентировке и смежности по целым граням. Четырьмя исходными параллелоэдрами являются куб, гексагональная призма с пинакоидом, ромбододекаэдр и кубооктаэдр. Все остальные параллелоэдры получаются в результате однородных деформаций (растяжений и сдвигов) из четырех вышеназванных многогранников.

Вернемся теперь к «примитивным формам» Гаюи. К ним относятся параллелепипед, октаэдр, тетраэдр, гексагональная призма и ромбододекаэдр.

Только незнание октаэдра с притупленными вершинами (кубооктаэдра) заставило Гаюи ввести в свою систему октаэдр с тетраэдром. Все остальные формы соответствуют параллелоэдрам Федорова.

Однако в отличие от своего предшественника, русский кристаллограф отнюдь не представляет себе кристаллы в виде вплотную прилегающих друг к другу материальных элементарных многогранников. Федоров мысленно подразделяет кристаллическое пространство на параллелоэдры. Внутри каждого из них, как бы в пространственном футляре, находятся структурные единицы, слагающие кристалл. Таким образом, выводятся четыре типа решеток, соответствующих перечисленным выше четырем типам параллелоэдров. В современной кристаллографии роль, сходную с ролью Федоровских параллелоэдров, выполняют элементарные ячейки в кристаллических структурах.

Если параллелоэдры напоминают «примитивные формы» Гаюи, то к его «интегрирующим молекулам» близко подходят Федоровские «стереоэдры». Последние получаются из параллелоэдров путем их разделения на равные части, в общем случае ориентированные непараллельно. При помощи стереоэдров Федоров вывел свои 230 пространственных групп — 230 геометрических законов, по которым могут располагаться элементарные частицы, строящие кристаллические тела. Как известно, пространственные группы лежат в основе современной структурной кристаллографии. Выдержала испытание временем и основная мысль Гаюи о том, что каждое кристаллическое вещество характеризуется своей, свойственной только ему, формой молекулы, т. е. своим строением. Следует напомнить, что

именно эта мысль после открытия в 1819 году Э. Митчерлихом явлений изоморфизма и полиморфизма подвергалась в свое время наибольшим нападкам. Однако сейчас положение, согласно которому каждое кристаллическое вещество характеризуется своей структурой, не вызывает никаких возражений. Приведем по этому поводу несколько фраз, принадлежащих одному из крупнейших современных кристаллохимиков — В. М. Гольдшмидту (1888—1947): «Первое важное положение кристаллохимии выражается законом Гаюи, согласно которому каждому химически однородному веществу соответствует группа кристаллических форм, характерная именно для данного вещества, так что одинаковость и неодинаковость двух веществ можно установить уже по форме кристаллов. . . Закон этот до сих пор является основой кристаллохимии, ибо он содержит в себе положение, что кристаллическое строение вещества зависит от химического состава и что изменение химического состава влечет за собой изменение строения кристалла».[13]

Имя Р. Ж. Гаюи занимает почетное место не только в истории кристаллографии, видное место принадлежит ему и в истории развития минералогии. Свои открытия в области структурной кристаллографии он широко применил для классификации минералов. Основой минералогической классификации Гаюи является следующее его положение: минералогический вид отвечает совокупности всех тех минералов, которые имеют одинаковые интегрирующие молекулы и которые составлены из одних и тех же элементов, соединенных между собой в одинаковых соотношениях. Как видим, минералогическая классификация Гаюи являлась, по сути дела, кристаллохимической и по идее предвосхищала современную нам систематику минералов, в основу которой положены как химизм, так и структура минералов. Исходя из вышеприведенного положения и используя кристаллографическое исследование примитивных тел, Гаюи сделал ряд замечательных минералогических открытий и внес множество уточнений и поправок в существовавшую до него систематику минералов.

Так, например, он впервые упорядочил невероятный «хаос» так называемых «шерлов», к которым в XVIII веке относили множество самых разнообразных минералов со столбчатым обликом. Из этой группы Гаюи выделил: пироксен, амфибол, эпидот, турмалин, аксинит, ставролит, дистен, анатаз, топаз (красный шерл), альбит (белый шерл из Дофине). С другой стороны, Гаюи на основании кристаллографических данных объединял в один вид вещества, рассматривавшиеся до него как различные минералы. Именно ему мы обязаны тем, что сапфир, рубин и наждак оказались в одной общей группе корунда. Гаюи впервые установил идентичность изумруда и берилла и, тем самым, помог Вокелену открыть новый элемент — бериллий. Множество названий, впервые предложен-

---

[13] В. М. Гольдшмидт. Кристаллохимия. Перевод И. Д. Борнеман-Старынкевич. ОНТИ, 1937, стр. 8.

ных Гаюи, прочно вошло в науку о минералах и широко используется в настоящее время.

Названия эти, по мысли ученого, должны были давать понятие о характерных особенностях минерала и составлялись им с помощью греческих слов. К таким названиям принадлежат, например: амфибол, анальцим, анатаз, апофиллит, аксинит, гиперстен, диаспор, диоптаз, дистен, нефелин, пироксен, сфен, эпидот, эвклаз и многие другие. Ему же принадлежат и некоторые петрографические термины (трахит, долерит, пегматит и др.).

Для нас особенно важно отметить, что Гаюи неоднократно исследовал минералы, найденные на Урале и в Сибири. Он дал первые кристаллографические описания диоптаза, крокоита, хромита, сиберита (розового турмалина) и других минералов из России.

Помещенная в настоящем издании статья Гаюи в форме письма к его русскому ученику П. А. Рахманову (стр. 107—115) представляет особый интерес для истории минералогии. В ней ученый подробно рассказывает о своей классификации минералов, основанной на его теории строения кристаллов. Далее он разбирает возражения, которые были выдвинуты против этой теории известным французским химиком К. Л. Бертолле (1748—1822). Здесь также затрагиваются вопросы, нашедшие отражение в знаменитом споре между Бертолле и Ж. Л. Прустом (1753—1826). Гаюи, утверждавший, что каждому определенному веществу соответствует своя строго определенная структура, был сторонником закона постоянства состава. Бертолле выдвигал в качестве возражения наблюдения над изоморфными кристаллами. В своей статье Гаюи делает попытку примирить свою теорию с новыми открытиями. Решение этого чрезвычайно важного для истории науки спора было найдено уже в наше время в работах акад. Н. С. Курнакова (1860—1941) о дальтонидах и бертоллидах и на основании результатов рентгеноструктурного анализа кристаллов. Принципиальное значение «письма» Р. Ж. Гаюи особенно подчеркивается в статье современного французского минералога проф. М. Ж. Орселя, помещенной в специальном выпуске журнала Французского минералогического общества, посвященном двухсотлетию со дня рождения Гаюи. [14] «Письмо» это во многом вызывает интерес и в настоящее время, представляя одну из самых замечательных в теоретическом отношении работ знаменитого французского кристаллографа и минералога.

В заключение остановимся на оценках творчества Гаюи, высказанных рядом выдающихся русских ученых, а также на научных связях, существовавших между французским кристаллографом и его русскими современниками. [15]

[14] M. J. Orcel. Haüy et la notion d'espèce en minéralogie. Bulletin de la Soc. Française de Minéralogie. 1944, t. 67, pp. 265—306.

[15] И. И. Шафрановский и Н. М. Раскин. Р. Ж. Гаюи и его научные связи с русскими учеными. Вопросы истории естествознания и техники. Вып. 5, 1957, стр. 165—168.

В России имя Гаюи издавна пользовалось широким признанием. В 1807 г. академик В. М. Севергин в своем «Подробном словаре минералогическом» придерживался в основном кристаллографической номенклатуры Гаюи. Он писал: «А как в нынешние времена, два наипаче способа рассматривания и определения ископаемых тел, соделались, по справедливости, наиболее принятыми, то есть способ г. Вернера в рассуждении наружных признаков, и г. Гаю (Гаюи) в отношении к кристаллографии, то для вящего удовлетворения российской публики соединял я при каждом более известном ископаемом теле определения обоих сих знаменитых минералогов». [16]

Во вступлении к «Словарю» содержатся следующие параграфы: первые понятия о кристаллографии Гаюи; основания наименований кристаллов по Гаюи; о знаках, употребляемых Гаюи при описании кристаллов; описание кристаллических видов ископаемых тел, извлеченное из «Минералогии» Гаюи, исправленное и дополненное по новейшим наблюдениям.

Важно подчеркнуть, что, активно пропагандируя теорию Гаюи, Севергин тем самым стал в ряды сторонников атомистической теории.

В 1824 г. выходит в свет книга профессора Петербургского университета физика Н. Щеглова «Минералогия по системе г. Гаю».

Предисловие к своей книге Щеглов начинает следующей характерной фразой: «Целому свету известно, что покойный Гаю глубокими исследованиями своими поставил минералогию на степень точной науки». Здесь важно обратить внимание на последние слова. Минералогия, благодаря трудам Гаюи, стала точной наукой. Кристаллографическая теория французского ученого дала возможность подвести математический фундамент под минералогические описания.

Во введении к биографии выдающегося русского минералога, автора классических «Материалов для минералогии России» Н. И. Кокшарова (1818—1892) мы читаем: «Особенно сильное впечатление произвела на Н. И. книга Гаюи (Traité de Minéralogie) с принадлежащим к ней атласом кристаллизации минералов и таблицами углов кристаллов по измерениям, сделанным самим автором. Тогда же у Н. И. явилась мысль создать нечто подобное для минералов России». [17]

В статье «Предмет Минералогии; краткая ея история; кристаллы, как настоящие индивидуумы неорганической природы» (1876) Н. И. Кокшаров писал: «Но вот является Гаюи и перед этим великим светилом меркнут почти все другие, ему предшествовавшие. Сочинение его „Essai d'une théorie sur la structure des cristaux“, изданное в 1784 г., составило блистательную эпоху для истории минералогии. . . Со времени Гаюи именно началась собственно вычислительная кристаллография, так как он первый

---

[16] В. М. Севергин. Подробный словарь минералогический. Т. I, СПБ, 1807, стр. V.

[17] Воспоминания Николая Ивановича Кокшарова. «Русская старина», 1890, т. 65, кн. 3, стр. 603.

применил метод строго математический для рассмотрения кристаллических форм». [18]

В самом конце прошлого столетия известный профессор минералогии Петербургского горного института академик П. В. Еремеев (1826—1896) в своих лекциях, как свидетельствует акад. М. А. Павлов, постоянно основывался на теоретических построениях Гаюи.

Высоко ценил французского ученого и Е. С. Федоров. В статье «Из итогов тридцатипятилетия» (1904), сопоставляя научные заслуги Р. Ж. Гаюи и немецкого кристаллографа Х. С. Вейса (1780—1856), он писал: «В общем Вейс, по сравнению с Гаюи, был ясным шагом назад, так как вместо систематического развития идеи, положенной Гаюи как надежное основание будущего здания, Вейс, уступая духу эмпиризма, в значительной мере стал делать шаги ощупью, пытаясь, без всякой руководящей идеи, установить законности, противоречащие природе вещей. . .» [19]

Выдающийся советский минералог и геохимик академик В. И. Вернадский (1863—1945) писал: «Гаюи . . . ввел в научное сознание еще две глубокие, крайне важные идеи: 1) . . . он утвердил в науке о кристаллах идею симметрии: он впервые заметил закономерную повторяемость определенных элементов многогранника и 2) он применил идею симметрии не только к форме многогранников, но и к физическим свойствам их, так как ясно сознавал тесную связь между той и другими. Идеи о возможности познать путем изучения кристалла форму атомов, найти, овладевши ею, новые неизвестные явления природы придавала своеобразную поэтическую окраску его трудам; она вдохнула жизнь в колоссальную, тяжелую, мелочную работу, сделанную в это время Гаюи и его ближайшими последователями. Гаюи сразу сделался центром научной мировой работы в этой области и все время оставался на высоте современного ему уровня науки». [20]

В связи со столетием со дня смерти Гаюи в 1922 году известный наш кристаллограф Г. В. Вульф (1863—1925) опубликовал статью, посвященную памяти французского ученого. В ней, согласно взглядам Г. В. Вульфа на кристаллографию, особенно подчеркивается роль Гаюи как кристаллографа-физика: «Гаюи не считал себя знатоком физики, и если он даже издал руководство по физике, то сделал это не охотно и по настоянию друзей, ценивших его способность изложения. Однако в построении кристаллографии он является настоящим физиком, для которого геометрия существует в природе не сама по себе, а в тесной связи со свойствами вещества». [21]

---

[18] Записки Минералогического общества. 1876, т. 10, стр. 143.

[19] Е. С. Федоров. Из итогов тридцатипятилетия. М., 1904, стр. 11.

[20] В. И. Вернадский. Основы кристаллографии, ч. 1, М., 1904, стр. 15.

[21] Г. В. Вульф. Аббат Ренэ Жюст Аюи. Журн. «Природа», 1922, № 8—9, стб. 89—96.

Для полноты картины остановимся и на критических высказываниях русских ученых о трудах Гаюи. Очень интересные замечания о Гаюи находятся в диссертации Д. И. Менделеева «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу» (1855). «Изучение кристаллических форм, как и первое на опыте основанное соглашение их с химическим составом, во всяком случае принадлежит известному основателю кристаллографии Гаюи», — писал Менделеев. Подробный разбор взглядов французского ученого приводит его к следующим выводам. «Итак, вся ошибка Гаюи состояла в том, что он придавал очень тесный смысл понятию о сходстве химического состава. Как верны и основательны мнения Гаюи по отношению к кристаллографическому внешнему строению минералов, так по большей части легки суждения его по отношению к химическому составу минералов, особенно к изоморфизму. . . Во всяком случае та резкость изложения общих законов, какую находим в творениях Гаюи, несогласна с подвижными и гибкими законами природы». [22]

Критически подошел к выводам Гаюи и московский профессор минералогии М. А. Толстопятов (1836—1890), один из ранних основоположников учения о реальном кристалле. В своей диссертации «Общие задачи учения о кристаллогенезисе» (1869) он писал: «В первой главе я останавливаюсь на основном положении Гаюи относительно увеличения массы кристалла per juxtapositione (путем наложения) и в опровержение его приведу факты, раскрывающие в высшей степени сложное иногда запутанное строение кристалла, по наружности простого». [23] Далее Толстопятов заключает: «Гаюи, увлеченный непогрешимой точностью математического анализа, введенного им в кристаллографию, построил понятие об идеальном кристалле, который заменил ему естественный кристалл».

Само собой разумеется, что такие критические высказывания могли появиться лишь в последующий этап развития науки. Теория Гаюи об идеальном кристалле была исторически необходимой ступенью для дальнейшего развития кристаллографии.

Признание научных достижений Гаюи в среде русских ученых не ограничивалось литературными высказываниями. Он был избран почетным членом Петербургской Академии наук, Петербургского минералогического общества и Московского общества испытателей природы.

Среди многочисленных учеников Гаюи были и русские ученые. В числе их известный метеоролог и кристаллограф, член Петербургской Академии наук А. Я. Купфер (1799—1864). В своей автобиографии он писал о себе в третьем лице: «Проникнутый глубоким уважением к высоко даровитому и отечески доброму Гаюи (на похоронах которого он с другими нес его гроб), полный восторженного удивления к другим выдаю-

---

[22] Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . Горный журнал. 1855, ч. 3, кн. 8, стр 252—253.

[23] М. А. Толстопятов. Общие задачи учения о кристаллогенезисе. 1869, стр. 5—6.

щимся людям, украшавшим эту столицу (Париж), он покинул ее, пожив в ней полтора года, и отправился в Петербург».[24]

Лекции Гаюи слушали известный московский профессор Г. И. Фишер-фон-Вальдгейм (1771—1853) и выдающийся палеонтолог Э. И. Эйхвальд (1795—1876). Оба эти ученые написали на русском языке учебники по минералогии и кристаллографии. Особенно близок к Гаюи был талантливый математик и музыкант Петр Александрович Рахманов (ок. 1770—1813). В 1803 г. Рахманов приехал в Париж, где слушал курсы Лагранжа, Био, Лежандра и Гаюи, с которыми он сблизился. П. А. Рахманову Гаюи доверил передачу своих трудов Петербургской Академии наук. Об этом свидетельствует сохранившееся в Архиве Академии наук СССР письмо Гаюи от 1 июня 1805 г.

«Оглашено в Конференции 28 августа 1805»

Париж, 1-го сего июня 1805.

Гг. членам императорской С. Петербургской
Академии наук.

Милостивые государи!

Благодаря моим сношениям с многими из Ваших соотечественников, я имел случай узнать, что мои труды по минералогии и физике были благосклонно приняты в России. Из всех тех наград, какие я получил за свое рвение и свои усилия, нет ни одной, которая была бы для меня более почетной и более лестной, чем этот прием в стране, где науки насаждаются с таким успехом. Всюду на них сказывается благотворное влияние знаний, распространяемых Вами, милостивые государи, в Вашем окружении; тем интересом, который могли в нем вызвать мои работы, я обязан Вам как первоисточнику. Это внушило мне желание преподнести Вам по экземпляру каждой из двух моих работ. Для пересылки Вам я пользуюсь поездкой г. Рахманова, который был столь любезен, что согласился их передать. Я имел удовольствие числить его среди слушателей моего курса по минералогии и быть свидетелем быстрых успехов, сделанных им в различных науках, которыми он занимался во время своего пребывания в Париже. Мое подношение, доверенное столь достойному ученому, будет иметь больше цены в Ваших глазах и будет принято Вами с большей снисходительностью.

Примите уверения в почтительной преданности, с каковой имею честь оставаться, милостивые государи.

Ваш смиреннейший и покорнейший слуга Гаюи.

Годом позже, в 1806 году, состоялось избрание Гаюи членом Петербургской Академии наук.

---

[24] М. А. Рыкачев. Исторический очерк Главной физической обсерватории. . . Ч. I, 1899, стр. 32.





Медаль с изображением портрета Р. Ж. Гаюи и модели строения кристаллов.

Lû en Conférence le 7 Mars 1810 Paris, ce 4 Novembre, 1809. 1

§ 99

Aux Membres de l'Académie Impériale des Sciences de St Petersbourg.

Messieurs.

J'ai l'honneur de vous adresser un nouveau résultat des recherches que j'ai entreprises pour ramener la Minéralogie à la précision dont elle m'a toujours paru susceptible. Mes efforts et mon zèle, pour atteindre mon but, ont été doublés par l'idée qu'en publiant cet ouvrage, j'aurois le droit dont je suis redevable à vos bontés, d'y consigner, parmi mes titres, celui dont vous m'avez honoré, Messieurs, en daignant m'admettre dans Votre illustre Société. Agréez cet hommage de ma reconnoissance et du dévouement respectueux avec lequel je suis,

Messieurs,

Votre très humble
et très obéissant
Serviteur Haüy

1
2-1810
8

Письмо Р. Ж. Гаюи Петербургской Академии наук.

Гаюи с большим уважением относился к научной деятельности нашей Академии, о чем свидетельствует публикуемое ниже письмо, которым он сопроводил посылку своего нового труда (очевидно, «Таблиц, срав-

нивающих результаты кристаллографических и химико-аналитических исследований в приложении к классификации минералов»).

«Оглашено в Конференции 7 марта 1810, § 99».

Париж, 4-го сего ноября 1809.

Гг. членам императорской С. Петербургской
Академии наук.

Милостивые государи!

Имею честь препроводить Вам новый результат исследований, предпринятых мною с целью придать Минералогии ту точность, которая, как мне всегда казалось, должна быть ей свойственна. Мои усилия и стремления достичь этой цели удваивались благодаря мысли, что, публикуя этот труд, я использую право, которым я обязан Вашей доброте — право числить среди моих званий еще и то, каким Вы, милостивые государи, меня почтили, приняв меня в вашу знаменитую корпорацию. Примите этот знак моей благодарности и почтительной преданности, с которой остаюсь, милостивые государи,

Ваш смиреннейший и покорнейший слуга Гаюи.

Необходимо отметить характерное для Гаюи высказывание о его стремлении придать минералогии строгую точность.

О серьезном научном контакте между знаменитым французским ученым и его русским учеником П. А. Рахмановым свидетельствует и обширная статья в виде письма к П. А. Рахманову, опубликованная в первом томе «Мемуаров Московского общества испытателей природы» и помещенная в настоящем издании (стр. 107—115).

Историческое значение творчества Гаюи сейчас признано кристаллографами всего мира. Несмотря на военное время, двухсотлетний юбилей со дня его рождения отмечался в 1943 году не только во Франции, но и в ряде других стран, в том числе и в Советском Союзе.[25]

В 1954 году в честь Международного конгресса кристаллографов в Париже была выбита медаль, на одной стороне которой изображен портрет Гаюи, а на другой — его модели строения кристаллов.

При составлении настоящей книги были широко использованы материалы, любезно присланные нам из Французского минералогического общества (Париж) акад. Ж. Виар и архивариусом Общества К. Куриленко, за что мы выражаем им глубокую благодарность.

Проф. *И. И. Шафрановский*

---

[25] По случаю этого юбилея Французское минералогическое общество выпустило специальный том, посвященный Гаюи, со статьями А. Лакруа, Ш. Могэна, Ж. Орселя и др. См. также статью И. И. Шафрановского «Из истории кристаллографии» (Несколько юбилейных для 1943 года дат). Журнал «Природа», 1944, № 2, стр. 78—82.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ Р. Ж. ГАЮИ

1. Sur la structure des cristaux de grenat. Journ. de Phys., XIX, pp. 366—370. 1782. (О структуре кристаллов граната).
2. Sur la structure des spaths calcaires. Journ. de Phys., 1782, XX, pp. 33—39. (О структуре известковых шпатов).
3. Essai d'une théorie sur la structure des cristaux appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées. Paris, 1783, p. 236. (Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к разнородным кристаллическим веществам).
4. Observations sur les schorls. Mém. de l'Ac. des Sc., 1784, p. 270. (Наблюдения над шерлами).
5. Mémoire sur la structure des cristaux de feldspath. Mém. de l'Ac. des Sc., 1784, pp. 273—286. (О структуре кристаллов полевого шпата).
6. Mémoire sur les propriétés électriques de plusieurs minéraux. Mém. de l'Ac. des Sc., 1785, pp. 206—209. (Об электрических свойствах некоторых минералов).
7. Observations sur la manière de faire les herbiers. Mém. de l'Ac. des Sc., 1785, pp. 210—212. (О способах создания гербариев).
8. Mémoire sur la structure de divers cristaux métalliques. Mém. de l'Ac. des Sc., 1785, pp. 212—228. (О структуре различных металлических кристаллов).
9. Mémoire sur la structure du cristal de roche. Mém. de l'Ac. des Sc., 1786, pp. 78—94. (О структуре горного хрусталя).
10. Lettre à M. Lamétherie sur le schorl blanc. Journ. de Phys., 1786, XXVIII, pp. 63—64. (Письмо Ламетри о белом шерле).
11. Exposition raisonnée de la théorie de l'électricité et du magnétisme d'après les principes d'Aepinus. Paris, 1787, p. 238. (Рациональное изложение теории электричества и магнетизма по принципам Эпинуса).
12. Mémoire sur la structure des cristaux de schorl. Mém. de l'Ac. des Sc., 1787, pp. 92—109, et Journ. de Phys., 1787, pp. 321—327. (О структуре кристаллов шерла).
13. Sur le spath adamantin. Journ. de Phys., XXX, 1787, pp. 193—195. (Об алмазном шпате).
14. Mémoire où l'on expose une méthode analytique pour résoudre les problèmes relatifs à la structure des cristaux. Mém. de l'Ac. des Sc., 1788, pp. 13—33. (Изложение аналитического метода решения задач, касающихся структуры кристаллов).
15. Mémoire sur la double réfraction du spath d'Islande. Mem. de l'Ac. des Sc., 1788, pp. 34—61. (О двойном преломлении исландского шпата).
16. Mémoire sur la manière de ramener à la théorie du parallélépipède celle de toutes les autres formes primitives des crystaux. Mém. de l'Ac. des Sc., 1789, pp. 519—532. (О способе приводить к теории параллелепипеда все остальные примитивные формы кристаллов).
17. Exposition abrégée de la théorie de la structure des cristaux. Ann. de Chimie, III, 1789, pp. 1—28, et Journ. d'Hist. nat., 1792—1, pp. 158, 161 et 201. (Краткое изложение теории структуры кристаллов).

18. Mémoire sur les cristaux appelés communément Pierres de Croix. Mém. de l'Ac. des Sc., 1790, pp. 27 et 44, et Ann. de Chimie, 1790, VI, pp. 142—157. (О кристаллах, обычно называемых крестовыми камнями).
19. Observations sur les propriétés électriques du borate magnéso-calcaire. Ann. de Chimie, 1791, IX, pp. 59—63. (Наблюдения над электрическими свойствами магнезиально-известковистого бората).
20. De l'électricité du spath boracique. Journ. de Phys., 1791, XXXVIII, pp. 323—324. (Электричество шпата-борацита).
21. Sur les moyens employés pour mesurer le poids d'un pied cube d'eau. Bull. de la Soc. Philom., 1791, I, pp. 39—41. (О способах, употребляемых для измерения веса кубического фута воды).
22. Description de la gemme orientale. Bull. de la Soc. Philom., 1791, pp. 49—50. (Описание восточной геммы).
23. Sur le mètre ou l'unité usuelle des mesures linéaires républicaines. Bull. de la Soc. Philom., 1791, I, pp. 73—74. (О метре или единице, употребляемой в республике для линейных измерений).
24. Sur la dilatation de l'eau. Bull. de la Soc. Philom., 1791, I, pp. 75—76. (О расширении воды).
25. Sur quelques variétés de sulfate barytique ou spath pesant. Ann. de Chimie, 1792, XII, pp. 3—26. (О некоторых разновидностях бариевого сульфата или тяжелого шпата).
26. Mémoire sur la structure des cristaux de nitrate de potasse. Ann. de Chimie, 1792, XIV, pp. 85—96. (О структуре кристаллов азотнокислого калия).
27. Sur la double réfraction du spath calcaire transparent. Journ. d'Hist. nat., 1792, I, p. 63, et II, pp. 158—160. (О двойном преломлении прозрачного известкового шпата).
28. Sur la pesanteur spécifique des minéraux. Journ. d'Hist. nat., 1792, I, pp. 94—103. (Об удельном весе минералов).
29. Sur un nouveau rhomboide de spath calcaire. Journ. d'Hist. nat., 1792, I, pp. 148—156. (О новом ромбоиде на известковом шпате).
30. Sur les hydrophanes. Journ. d'Hist. nat., 1792, I, pp. 294—299. (О гидрофанах).
31. Sur le diamant. Journ. d'Hist. nat., 1792, I, pp. 377—384. (Об алмазе).
32. Sur la double réfraction du crystal de roche. Journ. d'Hist. nat., 1792, I., pp. 406—408. (О двойном преломлении горного хрусталя).
33. Extrait des observations sur la vertu électrique que plusieurs minéraux acquièrent à l'aide de la chaleur. Journ. d'Hist. nat., 1792, I, pp. 449—461. (Извлечение из наблюдений над электрическими свойствами, полученными при нагревании некоторых минералов).
34. Sur les couleurs de l'agathe opaline nommée communément opale. Journ. d'Hist. nat., 1792, II, pp. 9—18. (Об окрасках опалесцирующего агата, обычно называемого опалом).
35. Sur les rapports de figure qui existent entre l'alvéole des abeilles et le grenat dodécaèdre. Journ. d'Hist. nat., 1792, II, pp. 47—53. (О соотношении фигур пчелиной ячейки и додекаэдра граната).
36. De la structure considérée comme caractère distinctif des minéraux. Journ. d'Hist. nat., 1792, II, pp. 56—71. (О структуре, рассматриваемой как характерное, отличительное свойство минералов).
37. Sur les cristaux d'argent rouge. Journ. d'Hist. nat., 1792, II, pp. 216—236. (О кристаллах красной серебряной руды).
38. Théorie sur la structure des cristaux. Journ. de Phys. 1793, XLIII, p. 103, 146, et Tilloch. Phil. Mag., 1793, I, pp. 35—46, 153—169, 287—303, 376. (Теория структуры кристаллов).
39. De l'action du feu sur le quartz. Ann. de Chimie, 1793, XVI, pp. 203—207. (О воздействии огня на кварц).

40. Sur la double réfraction de plusieurs substances minérales. Ann. de Chimie, 1793, XVII, pp. 140—155, et Mém. de la Soc. d'Hist. nat. de Paris, an VII, pp. 25—27. (О двойном преломлении некоторых минеральных веществ).
41. Mémoire sur les méthodes minéralogiques. Ann. des Mines, 1793, XVIII, pp. 225—240. (О минералогических методах).
42. Instruction abrégée sur les mesures déduites de la grandeur de la terre et sur les calculs relatifs à leur division décimale. Paris, Imp. nat., an II, p. 150. (Краткая инструкция для вычисления и измерения величины земного шара и для нахождения десятичных частей).
43. Sur les aimants naturels. Journ. de Phys., 1794, XLV, pp. 309—311. (О природных магнитах).
44. Mémoire sur une espèce de loi particulière à laquelle est soumise la structure de certains cristaux, appliquée à une nouvelle variété de carbonate calcaire. Journ. des Mines, 1795—96, II, pp. 11—22, et Tilloch., Phil. Mag., 1798, II, pp. 398—413. (Об одном частном законе, которому подчиняется структура некоторых кристаллов, в приложении к новой разновидности кальциевого карбоната).
45. Sur le schorl rouge de Bretagne. Journ. des Mines, 1795—96, II, pp. 46—47. (О красном шерле из Бретани).
46. Sur la cristallisation du titane. Journ. des Mines, 1795—96, III, p. 28. (О кристаллизации титана).
47. Observations sur les Zéolithes. Journ. des Mines, 1795—96, III. (Наблюдения над цеолитами).
48. Sur l'électricité de l'Apatite. Journ. des Mines, 1795—96, III. (Об электричестве апатита).
49. Exposé des observations et expériences faites sur le Wolfram de France (avec Hecht et Vauquelin). Journ. des Mines, 1796, IV, pp. 3—26. (Обзор наблюдений и опытов, проведенных над вольфрамом во Франции).
50. Description de la cymophane avec quelques réflexions sur les couleurs de gemmes. Journ. des Mines, 1796, IV, pp. 5—16. (Описание цимофана и некоторые мысли об окраске драгоценных камней).
51. Sur les services rendus à la science minérale par de Romé de l'Isle. (О заслугах в области минералогии Ромэ-Делиля). См. № 70.
52. Observations sur le chapitre V de la Géographie physique de Bergmann. Journ. des Mines, 1796, IV, pp. 21—32. (Обзор пятой главы Физической Географии Бергмана).
53. Exposé d'une méthode simple et facile pour représenter les formes crystallines par des signes très abrégés qui expriment les lois de décroissement auxquelles est soumise la structure. Journ. des Mines, 1796, IV, pp. 15—36. (Изложение простого и легкого метода, позволяющего характеризовать формы кристаллов краткими обозначениями, выражающими законы убывания структуры).
54. Observations sur l'électricité des minéraux. Journ. des Mines, 1796, IV, pp. 65—71. (Наблюдения над электрическим минералов).
55. Sur la cristallisation de l'émeraude. Journ. des Mines, 1796, IV, pp. 72—74. (О кристаллизации изумруда).
56. Extrait d'un traité élémentaire de Minéralogie, rédigé par le C^n Haüy. Paris, Imp. de la République, 286 p., et Journ. des Mines, pp. 249—358. (Извлечение из курса элементарной минералогии).
57. Sur la forme des stalactites. Journ. des Mines, 1796, IV, p. 77. (О форме сталактитов).
58. Sur les pierres appelées jusqu'ici Hyacinthe et Jargon de Ceylan, leurs différences, leurs caractères physiques et géométriques. Journ. des Mines 1796—1797, V, p. 160—162. (О камнях, называвшихся до сих пор гиацинтом и жаргоном с Цейлона. Об их разнице и их физических и геометрических свойствах).
59. Sur la structure des cristaux de leucite. Journ. des Mines, 1796—97, V, pp. 185—193. (О структуре кристаллов лейцита).

60. Distribution et nomenclature des substances dont l'étude est du ressort de la Géologie. Journ. des Mines, 1797, VI, 33, 680 et suiv. (Распределение и номенклатура объектов, подлежащих изучению в геологии).
61. Observations minéralogiques sur une pierre de Vulpine dans le Bergamase. Journ. des Mines, 1797, VI, pp. 809—811, et Journ. de Phys., XLVII, pp. 102—103. (Минералогические исследования камня-вульфенита из Бергама).
62. Observations sur la structure des cristaux appelés Zéolithes et sur les propriétés électriques de quelques-uns. Mém. de l'Ac. des Sc., I, an IV, pp. 49—55. (Наблюдения над структурой кристаллов, называемых цеолитами, и над электрическими свойствами некоторых из них).
63. De la dioptase d'Hauy, emerandine de Delametherie. Journ. de Phys. 1798, XLVI, pp. 308—309. (О диоптазе Гаюи и эмерандине Деламетри).
64. Sur l'alumine fluatisée. Journ. de Phys., XLIX, pp. 462—463. (О жидком алюминии).
65. Observations sur des cristaux trouvés parmi des pierres de Ceylan et qui paraissent appartenir à l'espèce du corindon vulgairement nommée spath adamantin. Mém. de la Soc. d'Hist. nat. de Paris, 1799, pp. 55—58. (Наблюдения над кристаллами, найденными между камнями Цейлона, которые относятся, очевидно, к роду корунда, называемого попросту «алмазным шпатом»).
66. Mémoire sur la possibilité de substituer hypothétiquement les formes secondaires des cristaux aux véritables formes primitives de manière à obtenir encore des résultats conformes aux lois de la structure. Mém. de la Soc. d'Hist. nat. de Paris, 1799, pp. 102—111. (О возможности выводить гипотетически вторичные формы кристаллов из действительных первичных форм так, чтобы полученные результаты соответствовали закону структуры).
67. Mémoire sur les formes cristallines du mercure sulfuré ou cinabre. Mém. de la Soc. d'Hist. nat. de Paris, 1799, pp. 114—117. (О кристаллических формах сернистой ртути или киновари).
68. Mémoire sur la comparaison des cristaux de strontiane sulfatée avec ceux de baryte sulfatée nommés communément Spaths pesans. Mém. de la Soc. d'Hist. nat. de Paris, 1799, pp. 127—139. (Сравнение кристаллов сернокислого стронция и сернокислого бария, обычно называемого тяжелым шпатом).
69. Leçons sur la Physique. Séances Éc. norm. de Paris, t. I, pp. 32—49, 188—205, 303—323, 394—412; t. II, pp. 129—148, 318—338; t. III, pp. 39—61, 310—331; t. IV, pp. 71—87, 271—291; t. V, pp. 173—194, 219—243, 326—351; t. VI, pp. 74—103. (Уроки по физике).
70. Séances des Écoles Normales de Paris. Les premiers essais d'Haüy dispersés dans le choix des mémoires d'Histoire naturelle ont été réunis en appendice d'un volume des Débats de ces séances, t. III, pp. 1—16 et 16—32, 33—40, 41—45, 46—52, 52—54, 54—65, 65—73, 73—78, 79—92. (Заседания Высшей Нормальной школы в Париже. Ряд сообщений Гаюи).
71. Mémoire sur une variété de fer sulfuré et une forme géométrique qui a rapport avec elle. Procés-verbaux des séances, t. II, p. 168. (Об одной разновидности сернистого железа и о соответствующей ей геометрической форме).
72. Mémoire sur le pouvoir réfringent du soufre. Procés-verbaux des séances, t. II, p. 221. (Об отражательной способности серы).
73. Traité de Minéralogie, 4 vol. 8° et atlas 4°, 1801 et 1822. (Курс минералогии).
74. Description d'une nouvelle variété de chaux phosphatée. Journ. des Mines, 1802, XII, pp. 99—102. (Описание новой разновидности фосфорнокислой извести).
75. Sur le cuivre arséniaté. Ann. Mus. d'Hist. nat., 1802, I, pp. 27—42. Journ. des Mines, 1802—03, XIII, pp. 425—440, et Nicholson Journ., 1804, VIII, pp. 187—197. (О мышьяковистой меди).
76. Sur de nouvelles variétés de chaux carbonatée, avec quelques observations sur les erreurs auxquelles on s'expose en se bornant à l'usage du goniomètre pour la description des cristaux. Ann. Mus. d'Hist. nat., 1802, I, pp. 114—126. (О новых

разновидностях углекислой извести с некоторыми замечаниями об ошибках, которые получаются, если при описании кристаллов ограничиваться только гониометром).

77. Notice sur la prétendue Zéolithe rayonnée du duché de Deux-Ponts. Ann. Mus. d'Hist. nat., 1802, I, pp. 194—197. (Заметка о предполагаемом лучистом цеолите...).
78. Sur l'indicolite de M. d'Andrada. Ann. Mus. d'Hist. nat., 1802, I, pp. 257—260. (Об индиколите г-на Андреда).
79. Mémoires sur les topazes du Brézil. Ann. Mus. d'Hist. nat., 1802, I, pp. 346—352. (О бразильских топазах).
80. Mémoires sur deux nouvelles variétés de fer sulfuré. Ann. Mus. d'hist. nat., 1802, I, pp. 439—144. (О двух новых разновидностях сернистого железа).
81. Moyens employés par M. Haüy pour la conservation des plantes de son herbier, in La Botanique de J.—J. Rousseau, Paris, an X-1802, pp. 313—319. (Способы, употребляемые г-ном Гаюи для сохранения растений в его гербарии).
82. Description de l'Apophyllite Ichthyophthalme d'Andrada. (Ichthyophthalmit de Reuss, Fischaugenstein de Werner). Paris, an XI. (Описание апофиллита — ихтиофтальма Андрада).
83. Traité élémentaire de physique destiné pour l'enseignement dans les Lycées nationaux, 2 vol., Paris, Delance et Lesueur, 1803, in—12, 1806 et 1821, in—8°. (Курс элементарной физики для обучения в национальных лицеях).
84. Observations sur la substance minérale appelé Labradorische Hornblende par les minéralogistes allemands. Ann. Mus. Hist. nat., 1803, II, pp. 17—22. (Наблюдения над минеральным веществом, названным немецкими минералогами лабрадоровой роговой обманкой).
85. Mémoire sur une nouvelle variété de quartz. Ann. Mus. Hist. nat., 1803, II, pp. 97—102. (О новой разновидности кварца).
86. Observations sur des cristaux qui renferment la chaux carbonatée unie au fer sans manganèse. Ann. Mus. Hist. nat., 1803, II, pp. 181—187. (Наблюдения над кристаллами, содержащими углекислую известь с железом, без марганца).
87. Mémoire sur la Tourmaline de Sibérie. Ann. Mus. Hist. nat., 1804, III, pp. 233—244. (Заметки о турмалине из Сибири).
88. Observations sur l'éléctricité des substances métalliques. Ann. Mus. Hist. nat., 1804, III, pp. 309—314, et Tilloch. Phil. Mag., 1805, XX, pp. 120—123. (Наблюдения над электричеством металлических веществ).
89. Description d'une nouvelle variété de chaux carbonatée. Journ. des Mines, 1805, XVIII, pp. 299—306, et Gehlen, Journ., 1807, III, pp. 514—520. (Описание новой разновидности углекислой извести).
90. Discours prononcé par M. Haüy à l'ouverture de son cours de minéralogie, le 24 floréal an XIII. Ann. Mus. d'Hist, nat., 1805, VI, p. 145. (Речь, произнесенная г-ном Гаюи при открытии его курса минералогии).
91. Ueber die Varietät des Corindons welche man Asterie (Sternstein) nennt. Gilbert, Annal., XX, 1805, pp. 187—192. (О разновидности корунда, называемого звездчатым камнем — астерия).
92. Sur la Datholite. Journ. des Mines, 1806, XIX, pp. 362—364 et Gehlen, Journ., 1807, III, pp. 492—495. (О датолите).
93. Sur l Zoysite. Journ. des Mines, 1806, XIX, pp. 365—366 et Gelhen Journ., 1807, III, pp. 495—497. (О цоизите).
94. Ueber die von Herrn Erman entdeckten galvanischen Phänomene. Gilbert. Annal., 1806, XXIV, pp. 407—414. (О гальванических явлениях, открытых г-ном Эрманом).
95. Traité élémentaire de Physique, 2-e édition, cf. 1803. (Элементарный курс физики, 2-е издание).
96. Réponse avec objection de Berthollet (Statique chimique, t. 1, 433—449) contre la méthode de classification d'Haüy. Lettre d'Haüy à M. de Rochmannoff. Mém. Soc. Imp. des Naturaliste de Moscou, t. 1, pp. 97—109. (Ответ г-на Гаюи на возра-

жения Бертолле, касающиеся метода классификации автора. Письмо Гаюи Рахманову).

97. Sur la réunion de la Picnite avec la Topaze. Journ. des Mines, 1808, pp. 39—48, XXIII, p. 39—48, Ann. Mus. Hist. nat. 1808, XI, p. 58; Bull. Soc. Phil. de Paris, 1807, I, pp. 101—102, et Gehlen Journ., 1808, V, pp. 725 et IX, 1810, pp. 281—282. (О слиянии воедино пикнита и топаза).

98. Sur les analyses du Chromate de fer et de la variété d'Épidote appelée Zoysite. Ann. Mus. d'Hist. nat., 1807, IX, pp. 103—105, et Tilloch. Phil. Mag., 1808; XXX, pp. 223—225. (Об анализах хромата железа и разновидности эпидота, названного цоизитом).

99. Note sur une nouvelle variété de strontiane carbonatée. Bull. Soc. Phil. de Paris, 1807, I, pp. 89—90, et Gehlen, Journ., 1808, V, pp. 242—244. (Заметка о новой разновидности углекислого стронция).

100. Sur l'identité minéralogique du Diopside, de la Malacolithe et du Pyroxène. Bull. Soc. Phil. de Paris, 1807, I, pp. 121—122. (О минералогической идентичности диопсида, малаколита и пироксена).

101. Extrait d'un Traité élémentaire de Minéralogie. Cf. p. 1802. (Извлечение из элементарного курса минералогии).

102. Description de plusieurs nouvelles variétés de chaux carbonatée. Journ. des Mines, 1808, XXII, pp. 49—54; Gehlen. Journ., 1810, IX, pp. 261—265 et Nicholson Journ., 1808, XXI, pp. 359—363. (Описание нескольких новых разновидностей углекислой извести).

103. Sur l'analogie du Diopside avec le Pyroxene. Journ. des Mines, 1808, XXIII, pp. 145—159; Ann. Mus. d'Hist. nat., 1808, XI, pp. 77—88; Brugnatelli, Giorn., 1808, I, pp. 227—235, et Gehlen, Journ. 1810, IX, pp. 271—280. (Об аналогии диопсида с пироксеном).

104. Sur l'Arragonite. Journ. des Mines, 1808, XXIII, pp. 241—270 et XXV, 1809, pp. 241—256. (Об арагоните).

105. Addition à ce Mémoire. Ann. Mus. d'Hist. nat., 1808, XI, pp. 244—246 et 1809, XIII, pp. 241—253. (Дополнение к предыдущей статье).

106. Description de l'Apophyllitte Ichthyophtalme de M. d'Andrada. Journ. des Mines, 1808, XXIII pp. 385—392, Berlin, Ges. Nat. Freunde Mag., 1808, II, pp. 10—14, Gehlen. Journ., 1810, IX, pp. 266—70., et Nicholson, Journ., 1810, XXVII, pp. 272—275. (Описание апофиллита-ихтиофтальма г-на Д'Андрада).

107. Sur les formes cristallines de fer arséniacal. Journ. des Mines, 1808, XXIV, pp. 261—268; Ann. Mus. d'Hist. nat., 1808, XII, pp. 304—309, et Brugnatelli, Giorn., 1809, II, pp. 274—275. (О кристаллических формах мышьяковистого железа).

108. Sur une nouvelle forme cristalline du Bismuth. Journ. des Mines, 1808, XXIV, pp. 321—330; Ann. Mus. d'Hist. nat., 1808, XII, pp. 198—204, et Brugnatelli, Giorn., 1809, II, pp. 62—63 et 310—316. (О новой кристаллической форме висмута).

109. Rapport sur un mémoire de M. Hassenfratz relatif aux altérations que la lumière du soleil éprouve en traversant l'atmosphère. Journ. de Phys., 1808, LXVI, pp. 356—358, et Nicholson, Journ., 1809, XXIV, pp. 155—158. (Сообщение о статье г-на Хассенфратца об изменениях солнечного света в атмосфере).

110. Tableau comparatif des résultats de cristallographie et de analyse chimique relativement à la classification des minéraux. Paris, Courcier, 1809, 12 p., et Journ. de Phys., 1809, LXIX, pp. 56—77. (Сравнительные таблицы по кристаллографии и химическому анализу в применении к классификации минералов).

111. Mémoire sur la théorie d'une nouvelle espèce de décroissement intermédiare, relative à la structure des cristaux qui dérivent du rhomboide et sur quelques propriétés générales de cette forme avec des applications à une variété de chaux carbonatée. Journ. des Mines, 1809, XXV, pp. 5—20. (О теории нового рода промежуточного убывания в структуре кристаллов, выводящегося из ромбоида, а также о не-

которых общих свойствах этой формы на примерах одной разновидности углекислой извести).

112. Observations sur le minéral que M. M. Werner et Karsten ont appelé Blättriger Augit. Journ. des Mines, 1809, XXVI, pp. 27—28; Ann. Mus. d'Hist, nat., 1809, XIV, pp. 290—300, et Brugnatelli, Giorn., 1810, III, pp. 147—56. (Наблюдения над минералом, который Вернер и Карстен назвали листоватым авгитом).
113. Mémoire sur une variété de fer sulfuré et une forme géométrique qui a des rapports avec elle. (Об одной разновидности сернистого железа и о соответствующей геометрической форме).
114. Mémoire sur le pouvoir réfringent du soufre (lu à l'Académie en fructidore, an VIII). (Об отражательной способности серы).
115. Observations sur L'électricité des minéraux. Journ. des Mines, 1810, XXVII, pp. 371—378; Ann. Mus. d'Hist. nat., 1810, XV, pp. 1—8; Ann. de Chimie, 1818, VIII, pp. 383—401; Brugnatelli, Giorn., 1810, III, pp. 220—226, Schweigger, Journ., 1819, XXV, pp. 135—158, et Tilloch, Phil. Mag., 1811, XXXVIII, pp. 84—85. (Наблюдения над электричеством минералов).
116. Sur l'arsenic sulfurè. Journ. des Mines, XXIX, 1811, pp. 161—178 et XXX, 1812; Ann. Mus. d'Hist. nat., 1810, XVI, pp. 19—34 et Brugnatelli, Giorn., 1811, IV, pp. 173—175. (О сернистом мышьяке).
117. Réponse aux objections de Berthollet contre la méthode de classification inventée par l'auteur. Moscou, Mém. Soc. des Natur., 1811, I, pp. 70—81, et CC. Léonhard, Taschenbuch f. die gesammte Mineralogie, 5^{e} année, pp. 181—195 (Répétition de la lettre d'Haüy de 1806). (Ответ на возражения Бертолле относительно метода классификации, предложенного автором).
118. Sur les Cymophanes des États-Unis. Journ. des Mines, 1811, XXX, pp. 321—334, Ann. Mus. d'Hist. nat., 1811, XVIII, pp. 57, 69, 184, et Gilbert, Annal., 1812, XLI, pp. 53—61 (О цимофанах Соединенных Штатов).
119. Observations sur la simplicité des lois auxquelles est soumise la structure des cristaux. Journ. des Mines, 1812, XXXI, pp. 161—200, et Ann. Mus. d'Hist., nat., 1811, XVIII, pp. 169—205. (Наблюдения над простотой законов, которым подчиняется структура кристаллов).
120. Sur les cristaux de pyroxène des environs de New-York. Journ. des Mines, 1812—1813, XXXIII, pp. 175—186., et Ann. Mus. d'Hist. nat., 1812, XIX, pp. 257—267. (О кристаллах пироксена из окрестностей Нью-Йорка).
121. Observation sur les cristaux épigènes de fer oxydé de la Sarre. Journ. des Mines, 1813, XXXIII, pp. 161—174. (Наблюдения над эпигенетическими кристаллами окисленного железа с реки Сарры).
122. Lettre à C. C. Léonhard (sur minéraux : anthophyllite, bronzite, apophyllite, azurite de Chessy. . . etc.) Taschenbuch, pp. 281—292. (Письмо Леонарду о минералах: антофиллит, бронзит, апофиллит, азурит. . . и т. д.).
123. Mémoire sur une loi de crystallisation appelée Loi de la Symétrie. Journ. des Mines, 1815, XXXVII, pp. 215—235, 347—369 et XXXVIII, pp. 5—34 et 161—174; Mém. Mus. d'Hist. nat., 1815, I, pp. 81—101, 206—225, 273—298, 341—352, et Bull. Soc. Philom., 1815, pp. 32—34. (Об одном законе кристаллизации, названном законом симметрии).
124. Observations sur les Tourmalines et particulièrement sur celles qui se trouvent dans les États-Unis. Journ. des Mines, 1815, XXXVII, pp. 399—408, et Mem. Mus. d'Hist. nat., 1815, II, pp. 1—9. (Наблюдения над турмалинами, в частности найденными в Соединенных Штатах).
125. Description d'une nouvelle variété d'Amphibole. Journ. des mines, 1815, XXVII, pp. 409—416, et Mém. Mus. d'Hist. nat., 1815, I, pp. 393—400. (Описание новой разновидности амфибола).
126. Note sur la vertu éléctrique de quelques minéraux. Journ. des Mines, 1815, XXXVIII, pp. 319—320 et Ann. de Chimie, 1816, I, pp. 447—448. (Заметка об электрических свойствах некоторых минералов).

127. Description d'une nouvelle variété de fer sulfuré blanc. Léonhard, Taschenbuch. . ., 1815, IX, pp. 1—10. (Описание новой разновидности белого сернистого железа).
128. Sur des cristaux d'Apophyllite nouvellement découverts dans le Tirol. Moll, Neue Jahrbuch, 1815, III, pp. 229—235. (О кристаллах апофиллита, вновь открытых в Тироле).
129. Des surfaces vibrantes. Journ. de Phys., 1817, LXXXVIII, 1819, pp. 125—147. (О вибрирующих поверхностях).
130. Observations sur une substance minérale à laquelle on donne le nom de Fassaïte. Mém. Mus. d'Hist. nat., 1817, III, pp. 120—134, et Ann. des Mines, 1817, II, pp. 163—178. (Наблюдения над минеральным веществом, которое называли фассаитом).
131. Sur la vertu magnétique considérée comme moyen de reconnaître la présence du fer dans les minéraux. Mém. Mus. d'Hist. nat., 1817, III, pp. 169—179, et Thomson, Ann. Phil., 1818, pp. 117—119. (О магнетических свойствах, рассматриваемых в качестве средства для определения присутствия железа в минералах).
132. Sur l'électricité produite dans les minéraux à l'aide de la pression. Mém. Mus. d'Hist. nat., 1817, III, pp. 223—228; Ann. de Chimie, 1817, V, pp. 95—101; Ann. des Mines, 1817, II, pp. 59—64 et Schweigger, Journ., 1817, XX, pp. 383—389. (Об электричестве в минералах, полученном с помощью давления).
133. Comparaison des formes cristallines de la strontiane carbonatée avec celles de l'arragonite. Mém. Mus. d'Hist, nat., 1817, III, pp. 287—307; Journ. de Phys., 1817, LXXXV, p. 341 et 404; Ann. de Chimie, 1817, V, pp. 439—441; Ann. des Mines, 1818, III, pp. 83—102, et Schweigger Journ., 1819, XXVI, pp. 347—371. (Сравнение кристаллических форм углекислого стронция и арагонита).
134. Sur l'usage des caractères physiques des minéraux pour la distinction des pierres précieuses qui ont été taillées. Mém. Mus. d'Hist. nat., 1817, III, pp. 353—390, et Ann. des Mines, 1817, II, pp. 385—433. (Об использовании физических свойств минералов для определения ограненных драгоценных камней).
135. Traité des caractères physiques des pierres précieuses pour servir à leur détermination lorsqu'elles ont été taillées. Paris, Courcier, 1817, p. 253 (Трактат о физических свойствах драгоценных камней, используемых для определения последних в ограненном виде).
136. Observations sur la mesure des angles der cristaux, Ann. des Mines, 1818, III, pp. 441—442; Journ. de Phys., 1818, LXXXVII, pp. 223—253, et Thomson, Ann. Phil., 1819, XIII, pp. 413—429. (Наблюдения над измерениями углов на кристаллах).
137. Sur la structure des cristaux de mercure sulfuré. Ann. de Chimie, 1818, VIII, pp. 60—70. (О структуре кристаллов сернистой ртути).
138. Sur les arrondissements qu'ont subis les formes d'un grand nombre de cristaux par des causes accidentelles. Mém. Mus. d'Hist. nat., 1818, IV, pp. 11—22. (О закруглениях форм большого количества кристаллов, появившихся в результате случайных причин).
139. Mémoire sur la cristallisation et sur les propriétés physiques de l'Euclase. Mém. Mus. d'Hist. nat., 1819, V, pp. 278—293. (О кристаллизации и физических свойствах эвклаза).
140. Nouvelles observations sur la faculté conservatrice de l'électricité acquise à l'aide du frottement. Journ. de Phys., 1819, LXXXIX, pp. 455—462, et Quart. Journ. Sc., 1820, IX, pp. 206—208. (Новые наблюдения над сохраняющейся способностью электричества, получаемого при помощи трения).
141. Mémoire sur le Pyroxène analogique. Ann. des Mines, 1819, IV, pp. 513—534, et Quart. Journ. Sc., 1822, 430—431. (Об аналогичных пироксенах).
142. Sur le Kaneelstein, Essonite. Journ. de Phys., 1820, XC, p. 319. (О коричном камне, эссоните).
143. Observations sur les cristaux de macle. Mém. Mus. d'Hist. nat., 1820, VI, pp. 241, 252. (Наблюдения над кристаллами двойников).

144. Traité élémentaire de Physique, 1820, 3-e édit.
145. Sur la Condrodite. Ann. des Mines, 1821, VI, pp. 257—230. (О хондродите).
146. Traité de Cristallographie, 2 vol. 8° et atlas 4°. Paris, Bachelier et Huzard, 1822. (Курс кристаллографии).
147. Traité de Minéralogie, vol. 4 et I atlas, 2 édit. Paris, Bachelier 1823. (Курс минералогии).

ЛИТЕРАТУРА О ЖИЗНИ И ТРУДАХ Р. Ж. ГАЮИ

1. G. Cuvier. Funérailles de M. l'abbé Haüy, 3 juin 1822. Discours, p. 1.
2. G. Cuvier. Éloge historique de M. Haüy. Prononcé dans la séance publique de l'Académie royale des Sciences. Paris, 1829, p. 8, CXIII—CL I 2 J.
3. Delafosse et Durozoir. L'abbé René Just Haüy. Bibliographie universelle ancienne et moderne. Supplément, t. 66—551—563, Paris, 1839, nouvelle édition.
4. Discours prononcés à l'inauguration du monument élevé á la mémoire des deux frères Haüy, à Saint-Just-en-Chausée, le 8 novembre 1903.
   A. Gaudry, président de l'Académie des Sciencess et professeur au Muséum, pp. 3—7.
   E. Perrier, membre de l'Académie et directeur du Muséum, pp. 9—17.
5. Inauguration du monument Haüy à Saint—Just-en Chaussée, le 8 novembre 1903. Discours.
   L. Michel, président de la Société française de Minéralogie. Bull. Soc. franç. Minér., t. 26, 1903, pp. 154—157.
   A. Lacroix, professeur de Minéralogie au Muséum (chaire d'Haüy), P. H., pp. 158—169.
6. L. Pihan, L'abbé, René Just Haüy, créateur de la Minéralogie (1743—1822). (Les Contemporains n° 483) Paris, 5, rue Bayard, 1902 (18 p.).
7. G. F. Kunz. The life and work of abbé René Just Haüy, American Mineralogist, t. 3, 1918, pp. 49—89.
8. L. Werner. René Just Haüy. Zum hundertsten Wiederkehr seines Sterbtages. Zeitschr. f. Krist., 1922, B. LVII, S. 129—144.
9. F. Kaisin. La vie oubliée de René Just Haüy, fondateur de la Cristallographie. Lecture faite au Comité national d'histoire des sciences: Bruxelles. Revue des questions scientifiques (h) t. 29, pp. 408—420, Louvain, 1936.
10. A. Lacroix. La vie et l'oeuvre de l'abbé René Just Haüy. Bull. Soc. franç. Minér. 1944, t. 67, pp. 15—112.
11. Ch. Mauguin. La structure des cristaux. Bull. Soc. franç. Minér. 1944, T. 67, pp. 225—262.
12. J. Orcel. Haüy et la notion d'espece en Minéralogie. Bull. Soc. franç. Minér. 1944, T. 67, pp. 261—306.
13. A. Lacroix. Les deux frères Haüy. Bull. Soc. franç. Minér. 1944. T. 67, pp. 338—344.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА О Р. Ж. ГАЮИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

1. В. М. Севергин. Подробный словарь минералогический, 1807. (1. Первые понятия о кристаллографии г. Гаю. 2. Основания именований кристаллов г. Гаю. 3. Описание угломера. 4. О знаках, употребляемых г. Гаю при описании кристаллов. 5. Показание кристаллических видов ископаемых тел, извлеченное из минералогии г. Гаю, исправленное и дополненное по новейшим наблюдениям).
2. Н. Щеглов. Минералогия по системе г. Гаю, СПб., 1824.
3. Гаю. Техническое распределение драгоценных камней с отличительными признаками их, извлеченное из сочинений аббата Гаю членом учредителем графом Г. К. Разумовским, с прибавлениями и замечаниями по собственным его наблю-

дениям. Перевел с французского А. Д. Танков. Труды Минералогического общества в С.-Петербурге, 1842, т. 2, стр. 283.
4. В. И. Вернадский. Основы кристаллографии, ч. I, М., 1904, стр. 15.
5. В. И. Вернадский. Закон Гаюи и векториальное строение кристаллов. Тр. отд. физ. наук Об-ва любит. естеств., 1904, т. 12, вып. 1, стр. 1—14.
6. Г. В. Вульф. Аббат Рене Жюст Аюи. Природа, 1922, № 8—9, стр. 89—96.
7. И. И. Шафрановский. Из истории кристаллографии. (Несколько юбилейных для 1943 г. дат) Природа. 1944, № 2, стр. 78—82.
8. И. И. Шафрановский и Н. М. Раскин. Р. Ж. Гаюи и его научные связи с русскими учеными. Вопросы истории естествознания и техники, 1957, вып. 5, стр. 165—168.

ПРЕДШЕСТВЕННИКИ ГАЮИ О СТРУКТУРЕ КРИСТАЛЛОВ

Р. Гук

ОТРЫВОК ИЗ КНИГИ «МИКРОГРАФИЯ, ИЛИ НЕКОТОРЫЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ КРОШЕЧНЫХ ТЕЛ, ОТНОСЯЩИХСЯ К МНОГОЧИСЛЕННЫМ КЛАССАМ» (1665) [[1]][1]

Теперь я перейду ко второй особенности [[2]], обнаруженной у этих алмазов и их осколков (фиг. 1 и 2), а именно, к правильности их формы, причем это свойство является не менее общим, чем предыдущее, поскольку оно охватывает все виды металлов, все виды минералов, большинство драгоценных камней, все виды солей, множество различных земель и почти все виды жидких тел.

Эта особенность является еще одним свойством, в отношении которого, насколько мне известно, не было даже сделано попыток объяснения, хотя на него и обращали некоторое поверхностное внимание. Данное свойство тел, как я полагаю, является самым достойным внимания. Его нужно рассматривать в связи с исследованием шаровидных тел. Я давно имел желание и намерение исследовать его при первой же возможности, и уже наметил для себя метод его изучения. Этот процесс имеет все привлекательные моменты, которые только могут быть присущи исследованию. Ибо, во-первых, я считаю, что оно основывается на самом простом принципе, из которого может выводиться любая форма, как например, шаровидная, которая поэтому и была первой, принятой мной во внимание. Что получилось у меня из этого, пусть судит мудрый читатель.

Шаровидная форма вытекает из свойства жидких тел, которое я назвал «согласованностью» (конгруэнтностью) и «несогласованностью» (инконгруэнтностью). Поэтому я думаю, что, обладая достаточным временем и необходимыми возможностями, я мог бы доказать положение, согласно которому все эти правильные фигуры, поразительно разнообразные и причудливо украшающие великое множество тел, образуются в результате лишь трех или четырех расположений или комбинаций сферических частиц. Эти комбинации являются самыми простыми, естественными и

[1] Перевод Т. И. Поздранковой.

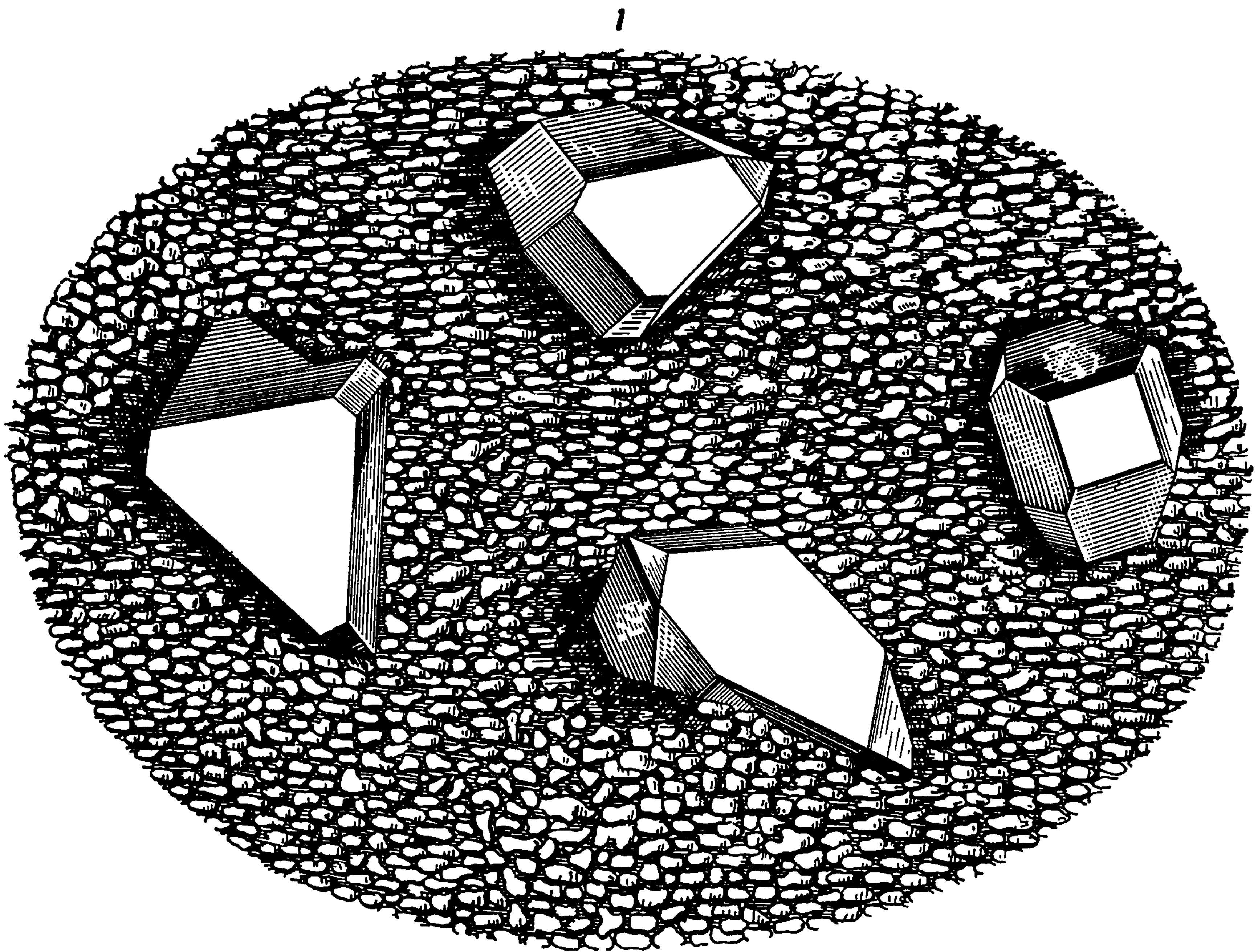
неизбежными соединениями частиц данной формы, которые только и возможны. Таким образом, если мы предположим сочетание определенных простых и естественных причин, то в результате частицы, соединенные вместе, должны обязательно образовать тело именно определенной правильной формы. Это также естественно и неизбежно, как и то, что жидкое тело, окруженное чужеродной жидкостью, принимает сферическую форму, форму шара.

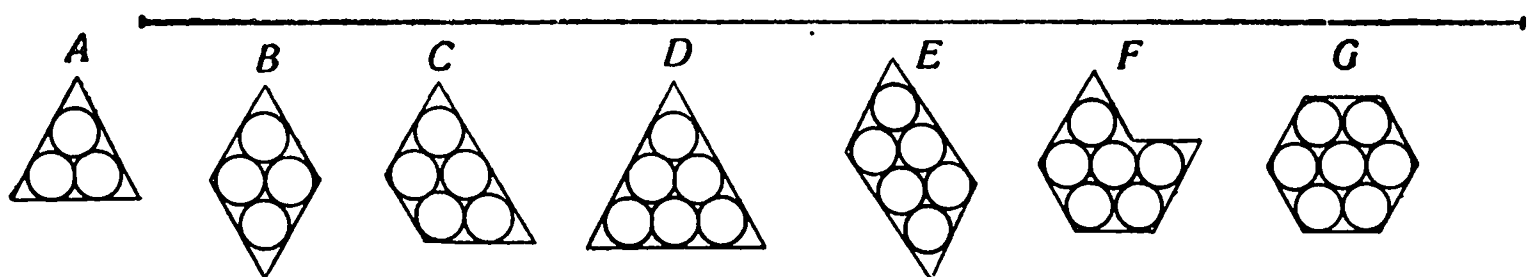
Последнее я продемонстрировал ad oculum с помощью нескольких шаровидных ядер и некоторых других очень простых тел. Я убедился, что не было ни одной из известных мне правильных фигур, ни одного из вышеупомянутых тел, которых я не мог бы воспроизвести, сочетая круглые ядра или шарики, а иногда даже просто механически соединяя их вместе.

Так, например, мы можем увидеть, что сферические ядра, находящиеся на наклонной плоскости, сами соединяются вместе, образуя треугольник. Они могут также составлять всевозможные варианты фигур, получающихся из равносторонних треугольников. Из таких же фигур состоят поверхности квасцов, как вы можете убедиться сами из опыта. Три сферических ядра, теснейшим образом расположенных на одной плоскости, составляют равностороннюю треугольную фигуру, как это показано на фиг. 1, *A*. Если к любой из сторон треугольника добавить четвертое ядро и соединить их плотнейшим образом, то эти четыре ядра образуют самый правильный ромб, состоящий из двух равносторонних треугольников *B*. Если приложить к ним возможно плотнее пятое ядро, то, согласно общему построению, образуется трапеция, или четырехсторонняя фигура, в которой два угла равны 120°, а два отвечают 60° *C*. Если добавить шестое ядро, также, как мы добавляли предыдущие ядра, то получается либо равнобедренный треугольник *D*, либо ромбоид *E*, либо шестиугольная фигура, состоящая из двух основных ромбов *F*. Если добавить седьмое ядро, то получается или равносторонняя шестиугольная фигура *G*, или некоторая пятисторонняя и шестисторонняя фигура *H* или I. Сколько бы ядер не соединяли вместе, их всегда можно отнести по конфигурации к какой-либо из вышеупомянутых фигур. При этом углы их будут равны либо 60, либо 120°, как на рис. *K*, где мы видим равноугольную шестистороннюю фигуру, составленную из 12 шариков (или из 25, 27, 36, 42 и т. д.).

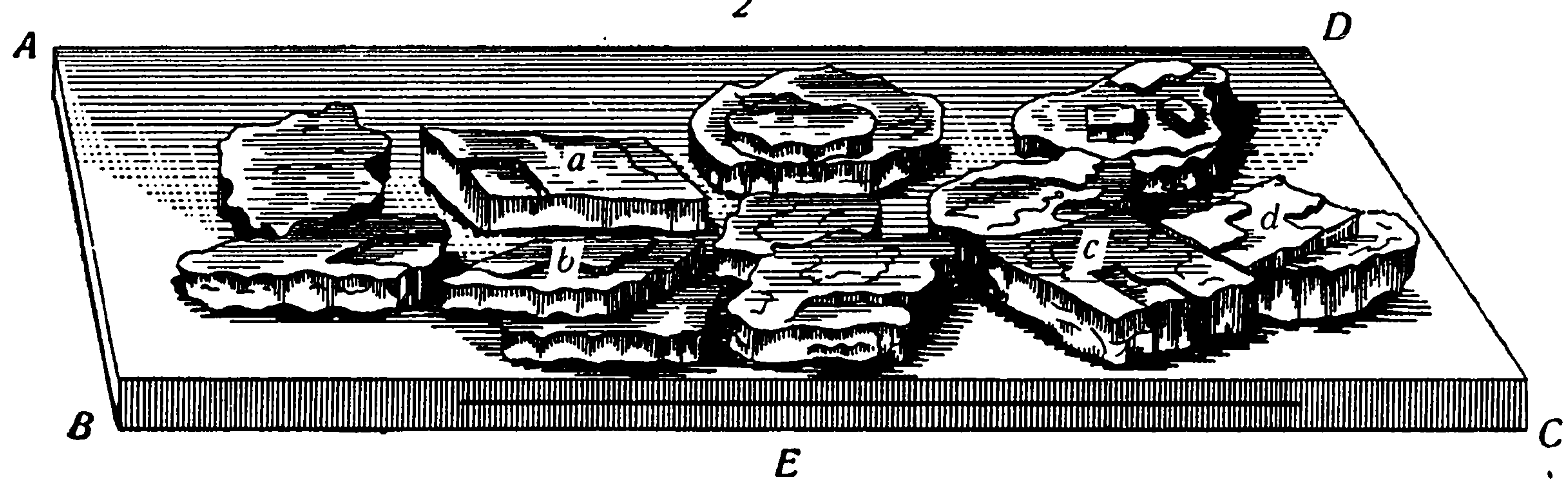
В структурах такого типа или в расположениях шаровидных тел можно обнаружить все типы и виды правильных форм, которые представлены гладкими поверхностями (гранями) квасцов, как легко обнаружить при тщательном их рассмотрении. Этот вывод правилен не только в отношении плоских поверхностей, но и для толщи структуры, так как совершенно очевидно, что четвертый шарик, положенный на третий в этой структуре, дает нам правильный тетраэдр, являющийся обычной формой кристаллов квасцов [3]. Короче говоря, нет ни одной формы кристаллов квасцов,

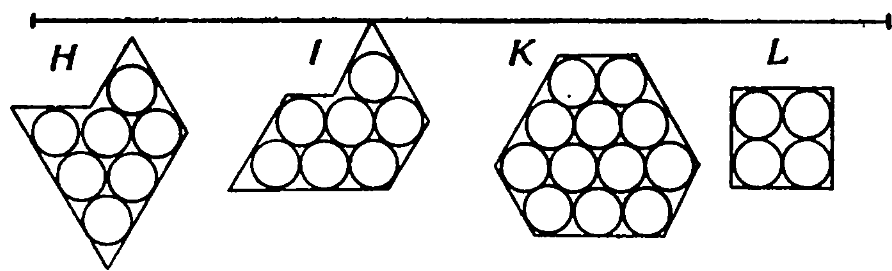
1





2





которой нельзя было бы воспроизвести с помощью именно этой, а не какой-либо другой структуры шариков.

Я мог бы также привести в качестве примера формы кристаллов морской или каменной соли, отвечающих структуре из шариков, расположенных так, как это показано на фиг. *L*. Все формы этой соли могут быть воспроизведены с помощью структуры шаровидных тел, расположенных именно так, а не иначе. Очевидно также, что формы кристаллов купороса селитры, горного хрусталя, инея и т. п. состоят из этих двух структур, но видоизмененных благодаря некоторым их свойствам.

У меня сейчас нет времени утверждать это, а также разъяснять, каким образом шарики становятся главным материалом, и что это за шарики. Не могу я сейчас привести и многих других особенностей, необходимых для полного и понятного объяснения этого свойства тел. Кроме того, я пока еще не имел возможности продолжать свои исследования так, как намеревался это сделать. Я даже не знаю, когда смогу приняться за это, так как требуется много времени и много помощи, чтобы проделать то, что я наметил. Ниже приводится возможный план такого исследования.

Во-первых, надо собрать, по возможности, точную и полную коллекцию всех разнообразных видов тел геометрической формы, примерно от трех до четырех тел каждого вида.

Во-вторых, следует получить возможно точные данные истории мест их происхождения или обнаружения и собрать больше фактов для иллюстрации этого исследования.

В-третьих, необходимо произвести возможно большее количество опытов по растворению и затвердеванию нескольких видов кристаллизующихся солей с тем, чтобы получить необходимые сведения и данные для исследования.

В-четвертых, надо произвести несколько опытов над разными другими телами, например металлами, минералами и камнями, путем растворения их в различных растворителях и кристаллизации их, чтобы узнать, какие формы получатся из этих разнообразных соединений.

В-пятых, следует произвести соединение и совместное затвердевание нескольких солей в одну единую массу, чтобы увидеть, какова будет форма, полученная в результате. При всем этом надо отметить для себя все обстоятельства, которые будут способствовать проведению исследования.

В-шестых, необходимо исследовать плотность или рыхлость структуры этих тел путем определения их удельного веса, их отражательной способности и т. д.

В-седьмых, надо исследовать, какое действие производит огонь на различные виды солей, какие изменения он вызывает в их кристаллической форме, структуре, свойствах.

В-восьмых, исследовать процесс их растворения или воздействия на тела, растворяющиеся в жидкости. Следует изучить структуру этих тел до и после процесса. Все это относится к истории вопроса.

Что касается решения его, то надо исследовать, каким образом и при помощи чего могут быть воспроизведены такие-то формы, реакции и результаты.

Наконец, взвесив все обстоятельства, я должен был бы попытаться показать, которое из решений наиболее приемлемо и (если бы данные исследования позволили это) которое из них должно быть правильным и является таковым.

Продолжим, однако, далее. Так как я уверен, что это исследование после работы с шаровыми частицами является самым простым, то, во-вторых, я считаю его не менее приятным. В самом деле, исследование является приятным когда его венцом является благородное открытие, а таковым и должно быть знание действенных причин возникновения всех этих своеобразных геометрических фигур, которые заставляли до сего времени философов заключать, что Природа играет роль геометра, согласно изречению Платона. С другой стороны, такое исследование является приятным благодаря большому разнообразию материала для изучения. Здесь мы встречаем нечто вроде математики Природы, рассматривая каждый день какую-нибудь новую фигуру или ее вариант в другом теле.

Третий момент, который делает наше исследование еще приятней, — это множество получаемых сведений. Нам не придется бродить в потемках, как при проведении большинства исследований, в которых требуется большое изобретательство. Имея множество случаев для сравнения и такие легкие способы создания, смешения и разрушения формы путем растворения и кристаллизации солей, мы не можем не получить массы сведений, помогающих нам в процессе исследования. Кроме того, их можно будет получить благодаря универсальности принципа, который Природа использовала почти во всех неодушевленных телах. Поэтому рассмотрение всех их ведет к познанию каждого из них в отдельности, а научное познание любого отдельного случая дает знание для всех и для каждого.

В-четвертых, безусловно, никто не может сомневаться в полезности приобретенного знания, так как знание ведет нас шаг за шагом вперед по правильному пути в лабиринте Природы к той цели, которую мы ставим себе во всех философских исследованиях.

Зная, какова форма неодушевленных или минеральных тел, мы с тем большим успехом сможем в нашем следующем исследовании наблюдать за формой растительных тел и, наконец, за формой одушевленных тел, что является высшей ступенью естественного знания, на которую только способен ум человека.

И. Ньютон

ОТРЫВОК ИЗ КНИГИ «ОПТИКА» (1704) [1]

Когда какая-нибудь соленая жидкость испаряется до тонкого слоя и охлаждается, то соль собирается в правильных фигурах. Это свидетельствует, что частицы соли до их затвердения плавали в жидкости на равных расстояниях по ряду и строю и, следовательно, действовали друг на друга с силою, равной на одинаковых расстояниях и неравной на различных. Ибо благодаря такой силе они сами установятся равномерно; без нее же, если они плавали беспорядочно, они и сойдутся вместе без порядка. Частицы исландского кристалла действуют на лучи все в одном направлении, вызывая необыкновенное преломление: поэтому нельзя ли предположить, что при образовании этого кристалла частицы не только установились в строй и ряды, застывая в правильных фигурах, но также посредством некоторой полярной способности повернули свои одинаковые стороны в одинаковом направлении [2].

Части всех однородных твердых тел, вполне прикасающиеся друг к другу, сцепляются очень сильно вместе. Для объяснения этого некоторые изобрели атомы с крючками, оставляя вопрос без ответа; другие говорят нам, что тела связаны покоем, т. е. таинственным качеством, или, скорее, ничем; другие — что частицы связаны согласованными движениями, т. е. относительным покоем между ними. Я бы скорее заключил из сцепления частиц о том, что они притягивают одна другую некоторой силой, которая очень велика при непосредственном соприкосновении и производит на малых расстояниях вышеупомянутые химические действия, но не простирается с значительным действием на большие расстояния от частиц.

Х. Гюйгенс

ОТРЫВОК ИЗ КНИГИ «ТРАКТАТ О СВЕТЕ» (1728) [1]

Перехожу к тому, что имею сказать о причине необыкновенной формы этого кристалла и о том, почему он легко раскалывается в трех различных направлениях, параллельно какой-либо из его поверхностей [2].

Есть много растительных и минеральных тел и выкристаллизованных солей, которые образуются с определенными углами и правильными формами. Так, среди цветов есть много таких, у которых листья

расположены в виде правильных многоугольников с 3, 4, 5 или 6, но не более сторонами. Особенного внимания заслуживают как многосторонняя форма их, так и то, почему число ее сторон не превышает шести.

Горный хрусталь обыкновенно растет в форме шестиугольных палочек, бывают алмазы, которые рождаются с квадратным концом и полированными поверхностями. Существует род маленьких плоских камешков, расположенных плотно и прямо друг над другом; все они пятиугольной формы с закругленными углами и сторонами, немного вогнутыми внутрь [3]. Зерна серой соли, которые получаются из морской воды, принимают форму или, по крайней мере, углы куба. В кристаллических образованиях других солей и сахара находят другие телесные углы с совершенно плоскими поверхностями. Снежинки падают почти всегда в форме маленьких шестиконечных звезд, а иногда в форме шестиугольников с прямыми сторонами. И я часто наблюдал внутри начинающей замерзать воды нечто вроде плоских и тонких ледяных листов, средняя полоса которых раскидывает веточки с наклоном в 60°. Все эти явления заслуживают тщательных исследований, для того чтобы узнать, как и какими приемами работает здесь Природа. Но я не имею в виду сейчас рассмотреть этот предмет полностью. По-видимому, правильность, которая обнаруживается в этих произведениях Природы, вызывается расположением составляющих их маленьких, невидимых и равных частиц. Возвращаясь к нашему исландскому кристаллу, я замечу, что если бы имелась пирамида как *ABCD* (рис. 1), составленная из маленьких круглых телец, не сферических, но сплющенных сфероидальных, именно таких, какие образовались бы от вращения изображенного рядом (рис. 2) эллипса *GH* вокруг его малого диаметра *EF*, отношение которого к большому очень близко к отношению 1 к квадратному корню из 8, то телесный угол вершины *D* был бы равен тупому и равностороннему углу этого кристалла. Замечу также, что если бы эти тельца были слегка склеены вместе, то при разбиении этой пирамиды она сломалась бы по плоскостям, параллельным граням, которые образуют вершину, и, таким образом, как легко видеть, образовала бы призмы, подобные призмам самого кристалла и изображенные на другом рисунке (рис. 3) [4]. Причина этого заключается в том, что при подобном раскалывании целый слой легко отделяется от соседнего слоя, так как каждый сфероид его отрывается не более чем от трех сфероидов другого слоя, из которых только один касается сплющеннойчастью своей поверхности, а два других одними своими краями. То, что поверхности отделяются друг от друга чистыми и гладкими, зависит от того, что, если бы какой-нибудь сфероид соседнего слоя желал выйти из него, чтобы примкнуть к отделяющемуся слою,

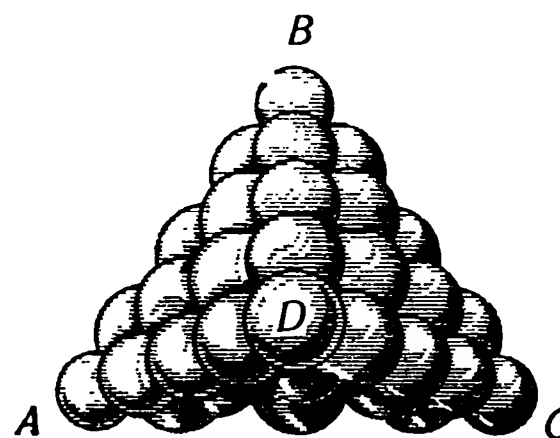


Рис. 1.

было бы необходимо, чтобы он оторвался от шести других сфероидов, которые крепко держат его и из которых четыре сжимают его своими сплющенными поверхностями. Принимая во внимание, что как углы нашего кристалла, так и способ, которым он раскалывается, точно соответствуют тому, что получается для фигуры, составленной таким образом из сфероидов, мы имеем большое основание полагать, что частицы его образованы и размещены подобным же образом.

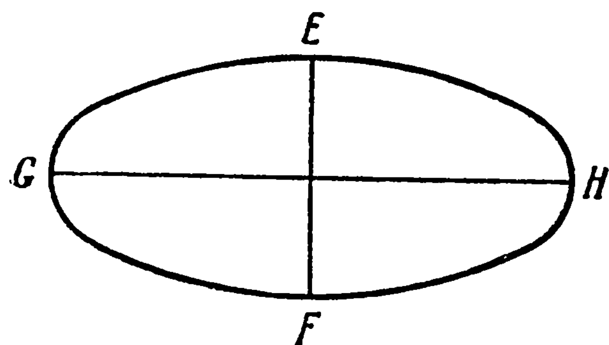


Рис. 2.

Весьма вероятно даже, что призмы этого кристалла образуются при разламывании пирамид, так как Бартолин сообщает, что иногда находят куски, имеющие трехгранную пирамидальную форму [5]. Но если бы даже масса была только во внутренней своей части составлена из расположенных таким образом маленьких сфероидов, то, какой бы ни была ее внешняя форма, согласно моему объяснению, очевидно, она образовала бы подобные призмы. Остается посмотреть, нет ли еще оснований, подтверждающих наше предположение, или же других, его опровергающих.

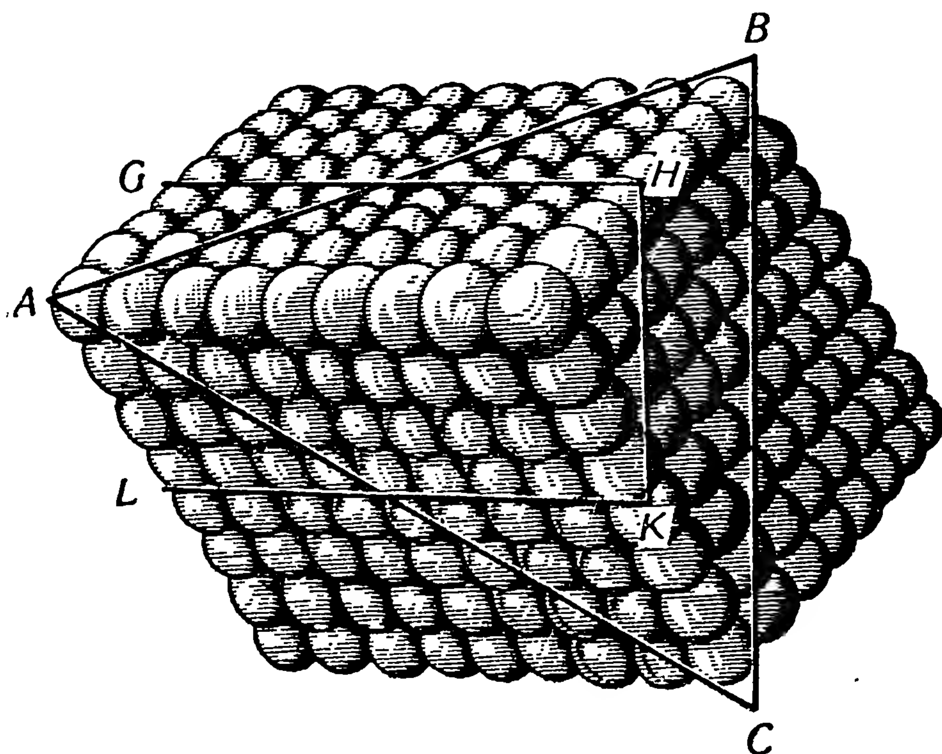


Рис. 3.

Возможно возражение, что этот кристалл, будучи так составлен, может раскалываться еще двумя способами; согласно одному из них он должен был бы раскалываться по плоскостям, параллельным основанию пирамиды, т. е. треугольнику ABC (рис. 1), а согласно другому — параллельно плоскости, сечение которой обозначено линиями GH, HK, KL (рис. 3). На это я замечу, что и то и другое рассечения, хотя и возможны, но труднее тех, которые были параллельны одной из трех плоскостей пирамиды, и что, таким образом, при ударе по кристаллу с целью его разбить последний всегда должен расколоться скорее по этим трем плоскостям, чем по двум другим. Если взять несколько сфероидов вышеуказанной формы и разместить их в виде пирамиды, то станет ясно, почему эти два рассечения более трудны. Действительно, при рассечении, параллельном основанию, каждый сфероид должен отделиться от трех других, которых он касается сплющенными поверхностями, а последние держат сильнее, чем соприкосновение краями. Кроме того, это разделение кристалла не может произойти цельными слоями, так

как каждый из сфероидов одного слоя, касаясь шести его окружающих сфероидов того же слоя только одними краями, почти не будет ими удерживаться, вследствие чего легко примыкает к соседнему слою. По той же причине к нему, в свою очередь, примыкают другие сфероиды, что создает неровные слои. Итак, мы видим из опыта, что, стачивая кристалл о несколько жесткий камень перпендикулярно оси равностороннего телесного угла, мы, действительно, с большой легкостью уменьшаем его в этом направлении, но нам очень трудно отшлифовать полученную при этом стачивании поверхность.

Что касается рассечения по плоскости *GHKL*, то при этом каждый сфероид должен отделиться от четырех сфероидов соседнего слоя, из которых два касаются его сплющенными поверхностями, а два краями. Таким образом, это рассечение также труднее рассечения, совершающегося параллельно одной из поверхностей кристалла, так как при последнем, как мы говорили, каждый сфероид должен отделиться лишь от трех сфероидов соседнего слоя, из которых только один касается его сплющенной поверхностью, два же остальных — одними краями.

Впрочем, о существовании в кристалле слоев этого последнего вида я узнал из того, что в одном полуфунтовом имеющемся у меня куске видно, что он, так же как вышеуказанная призма, расколот по всей длине плоскостью, проходящей через *GHKL*. Это обнаруживают радужные краски, распространенные по всей плоскости, хотя оба куска и держатся еще вместе. Все это доказывает, что строение кристалла таково, как мы утверждаем. К этому я прибавлю еще следующий опыт: если поскрести ножом по одной из естественных поверхностей, исходя из равностороннего телесного угла, т. е. от вершины пирамиды, то кристалл окажется очень твердым, если же скрести в обратном направлении, то его легко поцарапать. Это, очевидно, вытекает из положения маленьких сфероидов: при первом способе нож по ним скользит, при втором же он их поддевает приблизительно как чешую рыбы.

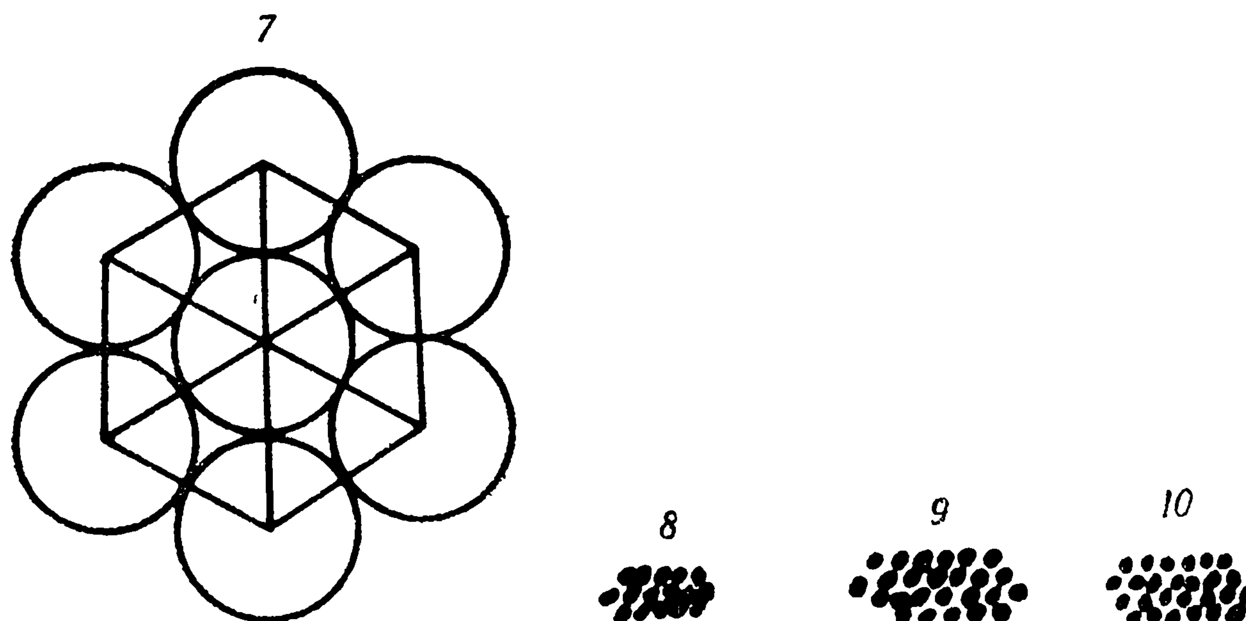
Я ничего не решаюсь высказать о том, каким образом порождаются столь маленькие, равные и подобные тела, ни о том, как они распределяются в таком прекрасном порядке: образуются ли они сначала, а затем собираются вместе, или же распределяются таким образом при порождении и по мере того, как создаются (что мне кажется более правдоподобным). Для разъяснения столь скрытых истин нужно значительно большее познание Природы, чем то, которым располагаем мы. Я добавлю только, что эти маленькие сфероиды могли бы способствовать образованию допущенных нами выше сфероидов световых волн, так как те и другие одинаково расположены и имеют параллельные оси.

М. В. Ломоносов

ОТРЫВОК ИЗ «ДИССЕРТАЦИИ О РОЖДЕНИИ И ПРИРОДЕ СЕЛИТРЫ» (1749) [1]

§ 25. Если мы предположим, что так составленные частицы селитры имеют сферическую форму, к каковой по большей части стремятся мельчайшие природные тела, собирающиеся в кучу, то будет очень легко объяснить, почему селитра вырастает в шестигранные кристаллы. Хотя все это основано почти на одном воображении, однако превосходно отвечает природе составных частей селитры и потому приобретает некоторый вес.

Действительно, пусть шесть корпускул расположены друг около друга так, что прямые линии, соединяющие их центры, образуют равно-



сторонние треугольники (рисунок, фиг. 7). В результате получится фигура, ограниченная шестью линиями, подобная разрезу призм, образуемых селитрою [2]. Частицы селитры, размещенные, таким образом, почти в бесконечном числе, образуют кристаллические призмы селитры, правда, часто с неравными сторонами, которые однако всегда параллельны и отвечают предположенному размещению, как показывают фиг. 8, 9 и 10. Впрочем, предложенная догадка подтверждается трояким образом: 1) при этом способе объяснения форма частиц не предполагается такой, какую имеют сами кристаллы селитры, и вопрос не остается поэтому без ответа, как это нередко бывает [3]; 2) углы кристаллов селитры соответствуют предполагаемому расположению частиц, так как обычно каждый из них составляет 120° [4]; 3) на основании нашей гипотезы можно легко объяснить другие роды кристаллов, например кубические кристаллы поваренной соли, предположением такого расположения частиц соли, что линии, проходящие через их центры, составляют квадраты.

М. В. Ломоносов

ОТРЫВОК ИЗ «РАССУЖДЕНИЯ О ТВЕРДОСТИ И ЖИДКОСТИ ТЕЛ» (1760) [1]

§ 19.

Но понеже есть бесчисленное множество свойств и качеств, кои в твердости и жидкости тел от разного союза частиц происходят, как разные степени вязкости, ломкости, мягкости, сыпкости, гибкости, упругости и других, которые разных и продолжительных рассмотрений и явственного понятия тончайшей физики требуют, того ради, оставив оные, только о том рассудим, сколько чувствительные тела от кипения до замерзания сжаться и расшириться могут и в самом деле сжимаются и расширяются.

§ 20.

И, во-первых, посмотрим по размышлению из разного положения частиц, коих сферическая фигура по силе вышепоказанных безопасно принята быть может. Четыре частицы сферических, в тесном положении и в союзном прикосновении состоящие, могут быть включены в равнобочную ромбоическую фигуру, а в самом пространном положении и в прикосновении должны быть в фигуре кубической. Таковые равнобочные фигуры $ABCD$ (рисунок, фиг. 2) и $ABCD$ (фиг. 3) имеют пропорцию между собою, как AB^3 к $\frac{1}{2}\sqrt{(\overline{AB}^2+\overline{BC}^2)}\times\overline{AB}^2$, т. е. как $\overline{AB}^3$ к $AB^3\sqrt{\frac{1}{2}}=1:\sqrt{\frac{1}{2}}=1000$ к $\sqrt{500000}$, потому что $AC=BC$. Ибо такое ромбоическое тело можно разделить на две равные призмы $ADCFBE$ и $ADCFGH$, имеющие общий квадратный бок $ADCF$ (фиг. 4) [2]. И понеже углы ABC и FBD суть прямые, то будет половина диагональной AC равна вышине BK призмы $ACDFBE$ или половины всего ромбоического тела. То есть тело кубическое к телу ромбоическому будет почти как 1000 к 707.

§ 21.

Отсюда явствует: 1) сколько простые тела, то есть из равных частиц состоящие и в скважинах посторонней материи не имеющие, расшириться

и сжаться могут без нарушения союза, хотя он прибыть и убыть может; 2) что частицы посторонней материи, между ними в скважинах находящиеся, например воздушные, могут не допустить частиц до самого теснейшего ромбоического союза, следовательно, до толь великого стеснения, как выше, в § 20, показано, достигнуть не всегда могут; однако довольно

еще в них к сжиманию и притяжению места остается, и по разному количеству посторонней материи разное сжимание и расширение тел рассуждать должно; 3) понеже в кубичном положении быть должны двенадцать прикосновений между осмью частицами, а в ромбоическом осмнадцать, для того недивно, что частицы, поместясь в сие из оного, крепкий союз твердости приобретают, потеряв жидкость, тем круче, чем дружнее шесть прикосновений и союзов прибудет.

Т. Бергман

ОТРЫВОК ИЗ КНИГИ «МЕЛКИЕ ЗАМЕТКИ ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ» [1]

РАССУЖДЕНИЕ 12-е. О ФОРМЕ КРИСТАЛЛОВ, И ГЛАВНЫМ ОБРАЗОМ О КРИСТАЛЛАХ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ ИЗ ШПАТОВ

§ I. Формы кристаллов подвержены многочисленным изменениям

Кристаллы представляют собой тела, которые, хотя и не имеют органического строения, но обнаруживают более или менее постоянное сходство с геометрическими фигурами.

При рассмотрении большого количества кристаллов обнаруживаются столь многочисленные разновидности форм, что возникает желание приписать это почти бесконечное разнообразие игре Природы. Нередко случается, что кристаллы, состоящие из разнородных веществ, имеют почти одинаковую форму и, наоборот, те, которые обладают одними и теми же характерными свойствами, необычайно различаются по форме. Однако после тщательного изучения и сравнения ряда кристаллов я пришел к выводу, что значительное количество кристаллов, отличавшихся друг от друга углами и внешними сторонами, произошли от небольшого числа простейших кристаллов.

Если мы не сделаем попытки определить эти «первичные», то все учение о кристаллах будет пребывать в хаосе, в котором оно находилось до настоящего времени. Те, которые захотят без этого дать описание или систематизацию кристаллов, напрасно потратят свое время и свой труд.

Уже в течение нескольких лет я занимался этим исследованием и мои поиски не остались безрезультатными. Теперь я могу привести данные нескольких опытов, проведенных мною над образцами кристаллического шпата [2]. Начнем же с объяснения (иллюстрируемого для большей ясности линиями на чертеже) того, как разнообразные скопления шпата могут образовать самые различные твердые тела.

---

§ II. О различных формах, принимаемых кристаллами шпата

Известковый шпат представляет собой, как известно, куб или косоугольный параллелепипед [3], все плоскости которого образуют ромбы с тупыми углами в $101\frac{1}{2}°$ и острыми углами в $78\frac{1}{2}°$. Проследим теперь

за процессом образования различных кристаллов путем соединения этих одинаковых параллелограммов.

A]. Пусть *ACEGO* (рис. I, фиг. 1) — ядро шпата, противоположные углы которого *DO* находятся на оси *HI*. Предположим, что внизу и вверху вдоль этой оси располагаются смежные ромбы, равные, подобные и параллельные соответствующим плоскостям ядра (чтобы избегнуть смешения линий, я отмечу только ромбы, причем условно *MP*, *MQ* и *MT*; это достаточно для тех, которые имеют какое-либо понятие о геометрии и перспективе).

В результате образуется шестигранная призма, состоящая из шести равных и подобных параллелограммов и завершающаяся с двух сторон тремя ромбами, которые, соединяясь, образуют телесный угол. Эта форма присуща некоторым кристаллам известкового шпата и в особенности шерлам, вследствие чего она и получила название «шерловой».

B]. Если нарастание граней приостановится в тот момент, когда грани призмы примут форму ромбов, то получится двенадцатигранник, покрытый ромбами. Такую форму имеют обычно совершенно образованные гранаты.

C]. Форма граната легко переходит в другую, довольно часто встречающуюся в гиацинтах. В этом случае происходит правильное наложение ромбов, равных и подобных одному из входящих в телесный угол, состоящий из нескольких граней; ибо совершенно образованный гранат имеет шесть вершин такого рода и, кроме того, восемь трехгранных вершин. На фиг. 2 линии, обозначенные пунктиром, показывают зарождение призмы гораздо нагляднее, чем я мог бы это сделать с помощью длинных рассуждений. В ходе этой операции четыре ромба превратились в четыре продолговатых шестиугольника. Например, ромб *LHAB* превратился в *LHhabB* и т. д.

D]. Иногда грани, которые соединены с главными гранями, хотя и являются подобными, но располагаются по некоей убывающей прогрессии. Независимо от того, происходит ли это убывание вследствие недостатка вещества или от какой-либо другой причины, можно предположить, что оно неизбежно вызовет изменение внешнего вида граней, завершающих фигуру, т. е. вызовет либо их увеличение, либо их сужение, в зависимости от тех или иных обстоятельств. Вернемся к фиг. 1. Если приложить к центральному ядру плоскости одинаковые, но непрерывно убывающие, как *Mp*, *Mq*, *Mt* и т. д., то они закончатся острием с двух сторон, что приведет к образованию уже не призмы, а двух пирамид; одной — верхней и другой — нижней. Плоскости, которые встречаются на их поверхности, образуют пересечения или общие основания, противолежащие углы которых повернуты одни кверху, а другие книзу, как это видно на *GFEACBG*. Такую фигуру имеют известковые кристаллы, называемые «свиным зубом». Они также носят название «пирамидального шпата».

Очевидно, что оси пирамид будут тем длиннее, чем медленнее происходит убывание ромбов, и наоборот.

Если убывание приостанавливается до того, как исчезнут последние стороны сгруппированных граней, то вершины будут иметь усеченный вид, что и встречается довольно часто.

Если осторожно ударить по выступающим краям AH, BH и FH вышеуказанного пирамидального известкового кристалла, то он разделится на кубические шпатовые частицы, чего почти невозможно достичь для противолежащих углов CH, EH и GH. Причина этого ясна: в первом случае удар параллелен скоплению граней, во втором — он приходится на место пересечения двух граней. Нижняя пирамида обладает тем же свойством, но с тем отличием (зависящим от ее структуры), что край AI находится точно против стороны AH. Также ведут себя и другие края в соответствии с их относительным положением.

E]. Случается довольно часто, что основные плоскости также оказываются усеченными. Если к ним приложить сходные с ними грани, то в результате неизбежно образуются формы, более или менее отличные от завершенных форм. Можно привести бесконечное число соответственных примеров. Я ограничусь здесь только несколькими.

Пусть $ABCDEFG$ (фиг. 3) — три ромба, которые образуют вершину полного шерлового кристалла. Предположим теперь, что ромб AG усечен по линии ab, ромб CG — по линии cd и ромб EG — по линии ef. Шестиугольная правильная призма $ABCDEF$ преобразуется тогда в неправильную фигуру $abBcdDefF$, состоящую из двух неравных сторон, вершина которых даст три неправильных пятиугольника $abBGF$, $cdDGB$ и $efFGD$. Я располагаю образцами таких кристаллов известкового шпата и шерла. К этому же роду относится также большинство грубых кристаллов турмалина в особенности из Тироля и Цейлона, которыми я займусь в дальнейшем более подробно.

Очевидно, что пятиугольная форма $abBGF$ тем больше приближается к треугольной форме, чем меньше пространство между ab и BF; то же имеет место и при других усечениях. В результате, когда линии ab, cd, ef смешиваются с диагоналями, образуется треугольная призма, завершающаяся тремя треугольниками. Если линии усечения ab, cd и ef приблизятся еще больше, оставаясь по-прежнему на равном расстоянии от центра G, то форма останется той же самой.

F]. Можно представить себе фигуру граната в виде шестигранной призмы, завершающейся с двух сторон тремя ромбами, которые соединяются у своих вершин. Можно также составить ее из четырех одинаковых кубов шпата, расположенных соответствующим образом. Я изобразил развитие этой фигуры на разрезе B, где оно представлено большими буквами (фиг. 4).

Теперь, если вместо полных ромбов мы предположим наличие вокруг оси скопления ромбов, имеющих усеченные внешние углы, или же, что

то же самое, если края призмы перерезаны продольно плоскостями, параллельными оси, то в результате получится двенадцатигранник, состоящий из пятиугольников, отмеченных на рисунке малыми буквами. Можно встретить известковые кристаллы такого вида, но обычно они столь малы, что *e* почти совпадает с *a*, *d* с *e* и т. д. Вследствие этого пятиугольник *abcde* принимает форму, близкую к треугольнику. Именно такую форму приписывают им некоторые авторы, незнакомые с истинным процессом их образования. Встречаются иногда также полные формы, перемешанные с пиритовыми формами этой разновидности.

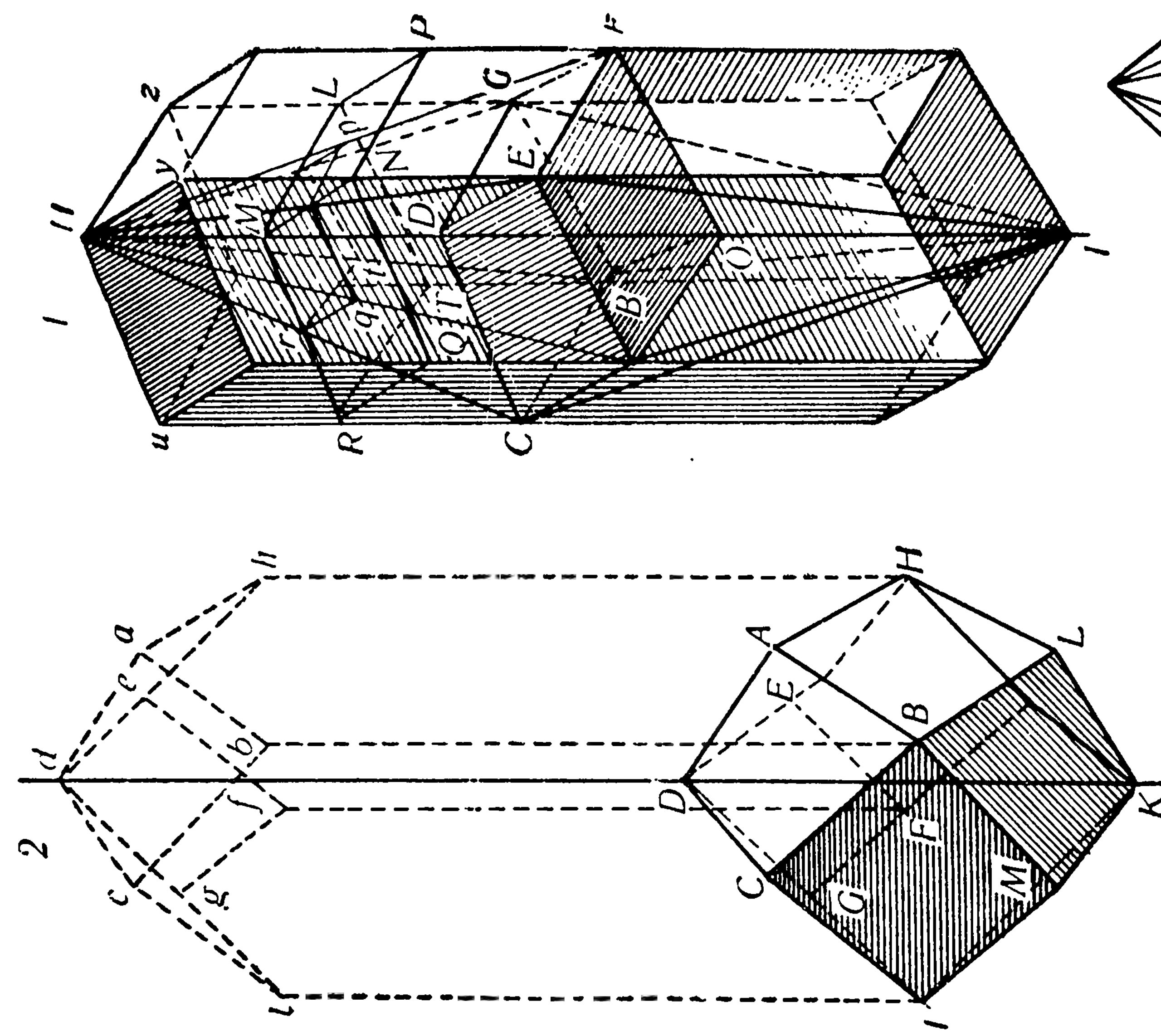
В других случаях все ребра граната оказываются усеченными, в силу чего число сторон достигает 24 и каждая сторона представляет удлиненный шестиугольник. Такое изменение происходит совершенно явно и в соответствии с установленными нами принципами. Если пересечение *cd* плоскостей *ec* и *cr* находится вне плоскости *BG*, то в результате получается совершенно иная форма.

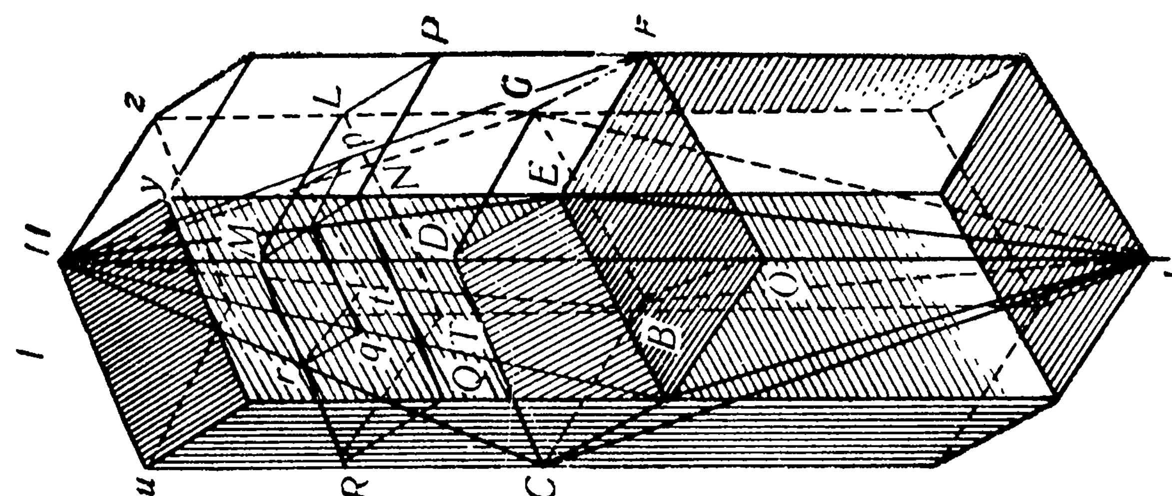
G]. Фигура гиацинта (разрез *c*) также имеет свои усечения. Замечательные образцы такой фигуры встречаются в Герцинских горах. Это крестовидные кристаллы *ABCDEFG HIKLM* (фиг. 5). Их вершина в *c*, часть *ABCbca* вся расположена на одной и той же наклонной плоскости; то же имеет место и на других соответствующих сторонах. Чтобы обнаружить первичную форму, дополним ромбы *cN*, *cO*, *cP* и *cQ* так, чтобы глаз, находящийся снизу от оси, проходящей через *c*, увидел в них квадраты на плоскости, находящейся сверху. Тогда мы получим первичную форму фигуры гиацинта. Ибо можно рассматривать форму граната как четырехугольную призму, состоящую из четырех ромбов, которые соединены только своими вершинами; эта призма заканчивается с двух сторон четырьмя ромбами, расположенными в виде пирамид. Такая форма, только несколько удлиненная, т. е. увеличенная путем наложения равных и одинаковых плоскостей на пирамиды, дает фигуру гиацинта и, следовательно, может быть с полным основанием названа ее первичной формой.

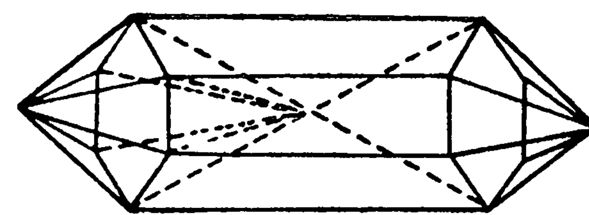
H]. Если добавляемые плоскости подобны друг другу, но отличны от основных плоскостей, на которые их накладывают, то получается большое число новых разновидностей. Я считаю бесполезным приводить здесь примеры, так как все сказанное выше достаточно хорошо знакомит со способом приведения их к первичной форме.

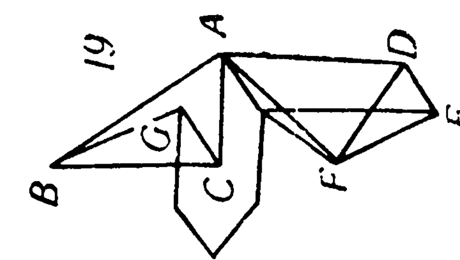
I]. Рекомендую тем, которые считают эту теорию чисто геометрическим умозрительным рассуждением, внимательно изучить известковые кристаллы. Если осторожно разрушить их непрочный материал, то легко обнаружится внутренняя структура.[1] Что же касается других более твердых кристаллов, формы которых мы описали, то их части соединены настолько тесно, что не представляется возможным разглядеть их структуру в изломе. Кристаллы шерла обнаруживают, однако, достаточно ясно

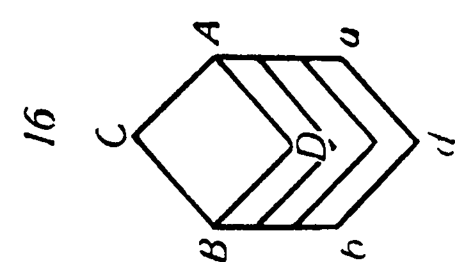
[1] Центральное ядро пирамидального известкового шпата было впервые обнаружено моим дорогим учеником г-ном Ганом.

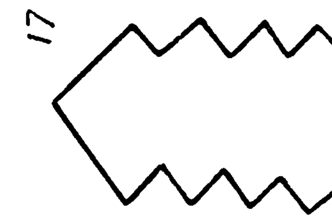


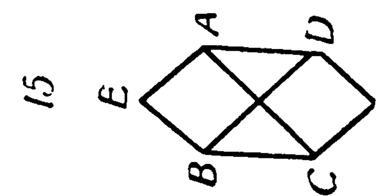


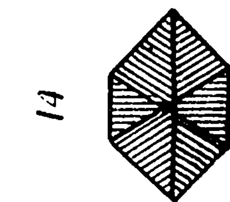


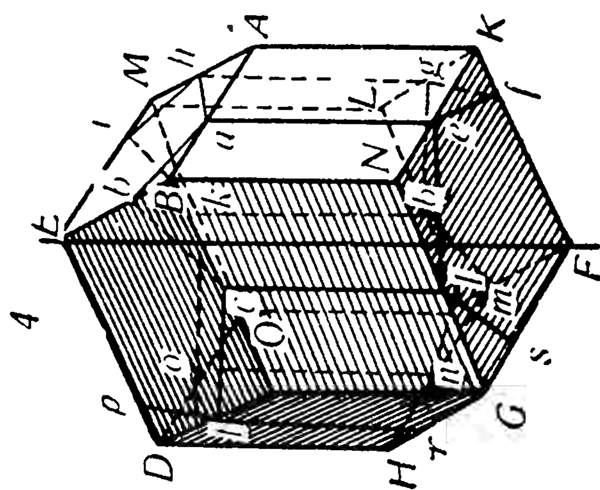


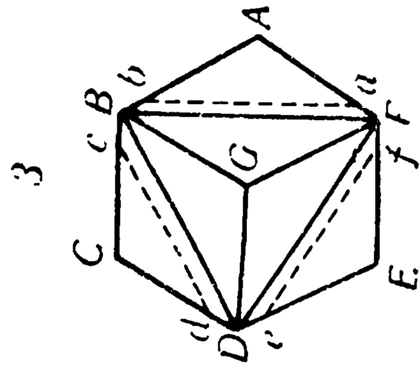


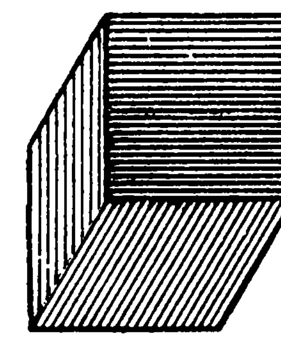


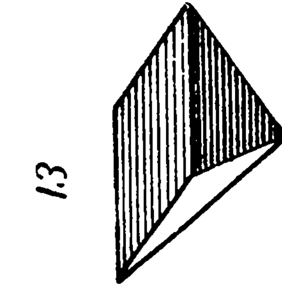


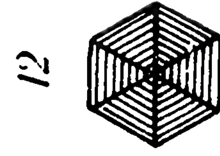


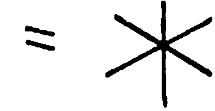


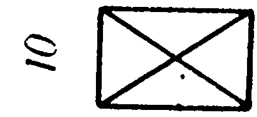


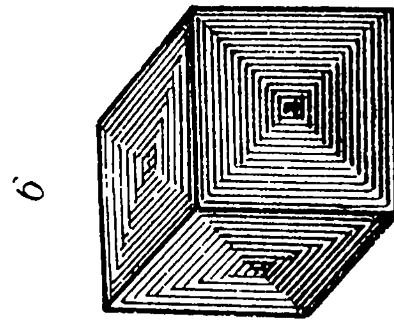


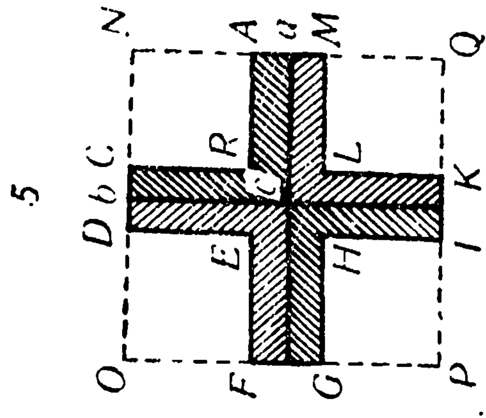


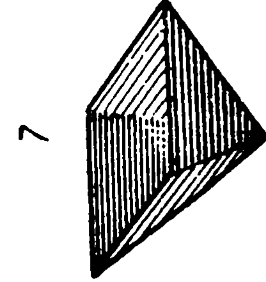


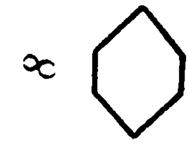


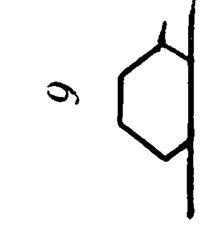












свое шпатовое строение. Кристаллы шерла, по всей видимости, состоят из маленьких пластин. В этом можно легко убедиться, если внимательно рассмотреть эти кристаллы.

К]. Добавлю еще одно замечание, которое касается встречающихся иногда известковых кристаллов призматических и шестиугольных, усеченных по вертикали, Они не могли образоваться из шпатовых частиц так, как это было описано выше, и вместе с тем, не существует другой формы, которая могла бы дать шестиугольные призмы.

Какова же причина, вызвавшая здесь сглаживание вершин? Признаюсь, что причина мне неизвестна, если только не предположить, что здесь имеет место накопление граней, постепенно убывающих вокруг оси. Надо признать, что мы имеем здесь дело с явлением совершенно необычным, поскольку оконечность усечения — тусклая, между тем, как остальная часть призмы — прозрачна. Кроме того, верхний шестиугольный срез будет гладким и ровным [4].

L]. Таким образом, мы видим призмы с тремя, четырьмя, шестью или десятью сторонами, завершающиеся различными вершинами, в зависимости от обстоятельств. Мы видим кристаллы пирамидальные, двенадцатигранные, крестовидные и многие другие, крайне различные формы, образовавшиеся от одной и той же фигуры шпата. Следует отметить, что при этом не наблюдается каких-либо изменений в свойствах вещества. Это предостерегает нас от того, чтобы слишком доверяться форме. Ибо, если эта особенность, которая, несомненно, является одним из важнейших внешних признаков, столь обманчива, то чтó можно сказать о других особенностях и возможно ли надеяться построить всю минералогическую систему на подобном основании? Не следует, конечно, пренебрегать этими внешними признаками, но тот, кто считает их достаточными, — заблуждается. Они могут помочь в исследовании опытному наблюдателю, но сами по себе они ничего не доказывают.

§ III. О форме самых малых частиц

Поскольку частицы шпата, скопляющиеся тем или иным способом, образуют весьма разнообразные формы, можно предположить, что отсутствие внешнего сходства между кристаллами объясняется незначительными различиями их механических элементов. Однако возникает вопрос: могут ли самые малые молекулы интегрирующих частей, являющиеся как бы первыми твердыми зачаточными формами, обладать от природы определенной угловой формой или же они приобретают ее в ходе кристаллизации? Далее я расскажу о тех наблюдениях, которые я проводил до настоящего времени в целях выяснения этого вопроса.

А]. Если рассматривать в лупу молекулы, которые отделяются от известкового раствора и подвергаются воздействию свежего воздуха, то можно установить, что они являются молекулами шпата.

B]. Если внимательно разглядывать большие массы шпата, то можно довольно часто обнаружить штрихи, идущие в диагональном направлении. Мы вскоре увидим, что они обнаруживаются также иногда и в солевых кристаллах и могут служить показателями их внутренней структуры.

C]. Можно определить следы внутренней структуры обычной соли не только по диагоналям кубов, но также по квадратам, параллельным ее внешним сторонам, которые зачастую обнаруживаются на каждой грани и убывают во внутрь непрерывно и закономерно (фиг. 6). Действительно, каждый куб состоит из шести полых четырехугольных пирамид, соединенных своими вершинами и внешней поверхностью. Все эти пирамиды заполнены подобными же пирамидами, но постепенно уменьшающегося размера вплоть до полного завершения фигуры [5].

Путем выпаривания можно сначала отделить эти пирамиды одну от другой (фиг. 7), затем получить эти шесть пирамид, расположенных вокруг одного центра, более или менее полых или твердых. Таким образом, удается проследить за всем ходом процесса, начиная с появления первых зачатков кристаллизации и до ее полного завершения. Так же обстоит дело с хлористым калием, получившим название сильвина. То же касается и хлористого серебра. Такое же строение имеет и галенит или свинцовый блеск, который обычно восстанавливается в Фалуне [6] в кучах минерала, подвергающихся на воздухе своего рода холодной обработке. Натровая селитра, имеющая форму шпата, также обнаруживает подобное расположение пирамид, причем столь же явственно, как и кубические кристаллы, о которых только что шла речь. Раствор квасцов при выпаривании обычно дает твердые восьмигранники, но иногда также и полые пирамиды. Если даже они и наполнены, то линии стыков часто остаются еще видимыми.

D]. Та же структура в других солях обозначается заметными диагоналями. Винный камень представляет собой шестиугольную призму, разрез которой дан на фиг. 8. Когда она заполнена, невозможно определить внутреннее расположение ее частей; но когда она образуется на дне раствора, то нижняя сторона не может дать полного зарастания (фиг. 9), и диагонали указывают на усечение этого параллелограмма (фиг. 10). Натуральный фосфат человеческой урины, который называют микрокосмической солью, кристаллизуется таким же образом. Отметим, однако, что два из вертикальных треугольников очень прозрачны, а два других более или менее тусклые, что свидетельствует, несомненно, о различном расположении их первичных частей. Я располагаю кристаллами селитры, на которых ясно видны эти диагонали; между тем, при более тесном соединении они обычно остаются невидимыми.

E]. Дальнейшее исследование каждой полой пирамиды морской соли показывает, что она состоит из четырех треугольников, а каждый из этих треугольников — из линий, параллельных основанию, представляющих собой ряды маленьких кубов. Таким образом, очевидно, что рост всех

кристаллов происходит в результате наложения пирамид и что от числа этих пирамид и протяженности их сторон зависит получение той или иной формы. Однако до сих пор остается невыясненным вопрос: имеется ли та же внутренняя структура в тех кристаллах, которые недоступны для глаза, и присуща ли первичным твердым элементам определенная форма, или наоборот, они приобретают ее при соединении нескольких таких молекул.

Известно, что самые маленькие твердые частицы, которые только могут быть замечены с помощью микроскопа, имеют свою конфигурацию, но и они уже являются сложными телами.

Нам остается только ждать, когда будет приподнята завеса над этой тайной. Теперь же я не могу удержаться от того, чтобы не сравнить кристаллизацию с замерзанием воды.

Частицы воды, которые переходят в твердое состояние, испытывают воздействие двух факторов. Один из них приводит к образованию нитей, под воздействием второго эти нити располагаются под углами в 60°. Этим объясняются все разновидности снега. Самая простая фигура состоит из шести равных лучей, идущих из одного и того же центра и расходящихся под углом, указанным на фиг. 11. Так как концы этих лучей соединены прямыми линиями, то угол остается одним и тем же. Это имеет также место в том случае, если заполнить каждый треугольник прямыми линиями, параллельными его основанию (фиг. 12). Замечу, что мне удалось видеть шестиугольные призмы снега. Предположим теперь, что молекулы, которые могут принимать кристаллическую форму, имеют тенденцию образовывать нити и что эти нити расположены так, чтобы соединяться под одинаковыми углами. В этом случае мы получим одновременно треугольники и пирамиды, состоящие из этих треугольников, хотя первичные элементы и не обладают определенной формой. Различия углов наклона вызовут изменения треугольников и пирамид. Отсюда и получается все разнообразие форм кристаллов, которое можно, в известной мере, определить с помощью геометрии, согласно заданным углам.

Мы предположим наличие двух тенденций, так как они приводят к двум различным последствиям; но и та и другая вызваны, вне всякого сомнения, одной причиной — взаимным притяжением частиц. В зависимости от их положения и присущей им формы эта причина располагает их сначала в виде нитей, а затем соединяет эти нити под одинаковым углом наклона. Я придерживаюсь мнения, что механическим элементам присуща определенная форма, так как в противном случае нельзя понять, почему одна и та же причина приводит некоторые вещества к образованию одного угла, другие же к различным углам, и все это с определенным постоянством. Впрочем, это предположение, хотя и вполне вероятное, заслуживает более подробного рассмотрения. Действительно, если рассыпать на электрофоре порошкообразную смолу, которая должна содержать молекулы крайне разнообразной конфигурации, то электрический ток образует из нее звезды, весьма похожие на звезды снега.

ПРИМЕЧАНИЯ

К работе Р. Ж. Гаюи «Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к разнородным кристаллическим веществам»

[1] «Опыт» был опубликован в 1784 году отдельной книгой под названием: «Essai d'une théorie sur la structure des cristaux, appliquée a plusieurs genres de substances cristallisées. Par M. l'Abbé Haüy, de l'Académie Royale des Sciences, Professeur d'Humanités dans l'Université de Paris. A Paris, chez Gogué et Née de la Rochelle, Libraires, Quai des Augustins, pres le Pont Saint-Michel. M. DCC. LXXXIV».

[2] Добантон Л. (1716—1799) — французский зоолог, анатом, минералог. Профессор натуральной истории, учитель Гаюи.

[3] Ромбоид — ромбоэдр.

[4] Форма шестигранной призмы, заканчивающейся двумя шестиугольными гранями — комбинация гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ с пинакоидом $\{0001\}$.

[5] Шпат с двенадцатью пятиугольными гранями — кристалл кальцита в форме комбинации гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ и ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$.

[6] Морская соль — поваренная соль, или галит ($NaCl$).

[7] Тяжелые шпаты — барит ($BaSO_4$).

[8] Фосфоресцирующий шпат — флюорит (CaF_2).

[9] Безу Э. (1730—1783) — французский математик.

[10] Лаплас П. С. (1749—1827) — знаменитый французский астроном и математик.

[11] Бергман Торберн Олав (1735—1784) — шведский минералог и химик.

[12] Двенадцатигранный гранат—кристалл граната в форме ромбододекаэдра$\{110\}$.

[13] В XVIII веке под названием шерла подразумевались столбчатые кристаллы различных минералов — турмалина, берилла, роговых обманок и др. Чаще всего, однако, так назывался турмалин.

[14] Марказит с двенадцатью пятиугольными гранями — кристалл пирита в форме пентагон-додекаэдра.

[15] Фигура, имеющая двадцать четыре треугольные грани — тетрагексаэдр (пирамидальный куб).

[16] Твердое тело в форме додекаэдра с гранями в виде ромбов — ромбододекаэдр.

[17] Додекаэдрический гранат — гранат в форме ромбододекаэдра.

[18] Гиацинт коричневого цвета — везувиан.

[19] Прямоугольный параллелепипед — тетрагональная призма.

[20] Руэлль Г. Ф. (1703—1770) — французский химик.

[21] Здесь дается первая формулировка известного закона Гаюи.

[22] Ромбоидальный известковый шпат — кальцит в форме ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$.

[23] Известковый шпат ромбоидальный с крайне тупыми вершинами — кальцит в форме сплющенного ромбоэдра $\{10\bar{1}2\}$.

[24] Известковый шпат с очень тупыми вершинами и с треугольными гранями — комбинация двух ромбоэдров: тупого $\{10\bar{1}2\}$ и более острого $\{10\bar{1}1\}$.

[25] Известковый шпат с двенадцатью пятиугольными гранями — комбинация гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ и ромбоэдра $\{10\bar{1}1\}$.

[26] Известковый шпат в виде шестигранной призмы — комбинация гексагональной призмы $\{10\bar{1}0\}$ и пинакоида $\{0001\}$.

[27] Известковый шпат с двенадцатью треугольными неравносторонними гранями («свиной зуб») — тригональный скаленоэдр $\{21\bar{3}1\}$.

[28] Известковый шпат ромбоидальный с острыми вершинами — кальцит в форме острого ромбоэдра $\{40\bar{4}1\}$.

[29] Жемчужный шпат — марганцовистый сидерит.

[30] Бриссон М. Ж. (1723—1806) — французский естествоиспытатель.

[31] Бертолле К. Л. (1748—1822) — известный французский химик.

[32] Тяжелые шпаты — кристаллы барита.

[33] «Многие из них обладали свойством обращаться в фосфоры» — здесь подразумевается не химический элемент, а фосфоресцирующее вещество (слово «фосфор» означает «несущий свет»). На образцах конкреций барита — «болонского камня» было впервые обнаружено, что барит, если смешать его с некоторыми органическими веществами, а затем прокалить, приобретает фосфорические свойства после действия солнечных лучей.

[34] Тяжелый шпат в виде ромбоидальных пластин — комбинация пинакоида $\{001\}$ и ромбической призмы $\{210\}$.

[35] Тяжелый шпат в виде восьмигранника — комбинация двух ромбических призм $\{011\}$ и $\{101\}$.

[36] Тяжелый шпат клинообразный — комбинация двух ромбических призм.

[37] Плавиковый шпат — флюорит.

[38] Гипс в виде ромбоидальных пластин — таблитчатые кристаллы гипса с развитием граней $\{010\}$.

[39] Гипс с десятью гранями — обычная комбинация гипсовых кристаллов $\{010\}$, $\{110\}$, $\{111\}$.

[40] Додекаэдрический гранат — гранат в форме ромбододекаэдра.

[41] Гранат с двадцатью четырьмя гранями — гранат в форме тетрагон-триоктаэдра $\{112\}$.

[42] Гранат с тридцатью шестью гранями — кристалл граната в виде комбинации ромбододекаэдра $\{110\}$ с тетрагон-триоктаэдром $\{112\}$.

[43] Бразильский топаз в виде прямой ромбической призмы, завершающейся одной и иногда двумя пирамидами — комбинация ромбической призмы и ромбической дипирамиды типа $\{110\}$, $\{111\}$.

[44] Бразильский топаз в виде прямой призмы с восемью гранями — комбинация типа $\{110\}$, $\{120\}$, $\{111\}$.

[45] Топаз в виде призмы с восьмью гранями. . . — комбинация типа $\{110\}$, $\{120\}$, $\{111\}$, $\{011\}$, $\{021\}$.

[46] «Я измерил эти углы на прекрасном аквамарине». . . — очевидно аквамарином Гаюи называет здесь голубой топаз.

[47] Окристаллизованный песчаник — кристаллы кальцита с включениями песка.

[48] Саж Б. Г. (1740—1824) — французский химик и минералог.

К статье Р. Ж. Гаюи «Ответ г-на Гаюи, почетного члена Общества, на возражения г-на Бертолле, касающиеся его метода классификации» . . .

[1] R. J. Haüy. Réponse aux objections de Berthollet contre la méthode de classification inventée par l'anteur. Статья опубликована в I томе мемуаров Московского общества испытателей природы на французском языке. (Mémoires de la Société impériale des naturalistes de Moscou. 1811, t. 1, pp. 70—81). Р. Ж. Гаюи был почетным членом Московского общества испытателей природы, основанного в 1805 году.

[2] Statique chimique — Essais de statique chimique (1803 г. Париж, 2 тома) — основной труд К. Л. Бертолле.

[3] Рахманов (Рохманов) Петр Александрович (ок. 1770—1813) — математик и музыкант. В 1803—1805 гг. слушал в Париже лекции Гаюи. (О Рахманове см. стр. 140, 142 настоящего издания).

[4] Углекислая известь — кальцит.

[5] Фосфорнокислая известь — апатит.

[6] Солянокислый натрий — галит (поваренная соль).

[7] Магнезиальный борат — борацит.

[8] Бертолле имел здесь в виду явление полиморфизма, еще не установленное окончательно в то время.

[9] Безводная сернокислая известь — ангидрит.

[10] Обыкновенная сернокислая известь — гипс.

[11] Новая земля — бериллий, открытый Н. Л. Вокелэном (N. L. Vauquelen, 1763—1829) в 1798 году.

[12] Здесь Гаюи имеет в виду свою статью «Sur la cristallisation de l'émeraude». (Journal des Mines, 1796, pp. 72—74).

[13] Железный шпат, или шпатовый железняк — сидерит.

[14] Жемчужный, или бурый шпат — марганцовистый сидерит, отвечающий серии промежуточных членов изоморфного ряда: сидерит ($FeCO_3$), родохрозит ($MnCO_3$).

[15] Здесь Гаюи высказывает свое отношение к явлению изоморфизма.

К отрывку из «Микрографии» Р. Гука

[1] R. Hooke. Micrographia or some phisiological descriptions of minute bodies. London. 1665. Отрывок, приводящийся в настоящем издании, находится на стр. 85—88 оригинала.

[2] В тексте, предшествующем нашему отрывку, Р. Гук описывал сильную отражательную способность граней алмазных кристаллов.

[3] Кристаллы алюмокалиевых квасцов обычно имеют, как известно, октаэдрическую форму. Ошибка Гука, очевидно, связана с треугольной формой граней этих кристаллов.

К отрывку из «Оптики» И. Ньютона

[1] J. Newton. Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light. London. 1721, 3-е изд. — И. Ньютон. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света.

Приведенный в настоящем издании отрывок взят из русского издания «Оптики» Ньютона в переводе С. И. Вавилова. Гос. Изд-во техн.-теор. л-ры, М., 1954, стр. 294—295.

[2] По справедливому замечанию акад. С. И. Вавилова, здесь сформулирована «идея кристаллической решетки» (Там же, стр. 361).

К отрывку из «Трактата о свете» Х. Гюйгенса

[1] Traité de la Lumière ou sont expliquées les causes de ce qui lui arrive dans la Reflexion et dans la Refraction. Et particulièrement dans létrange Refraction du Cristal d'Islande. — Трактат Гюйгенса был опубликован лишь после его смерти в собрании его трудов (Opera reliqua, 1728).

Приведенный в настоящей книге отрывок взят из русского издания: Христиан Гюйгенс. Трактат о свете. Перевод Н. Фредерикс под редакцией и с примечаниями проф. В. Фредерикса. ОНТИ НКТП СССР. М.—Л., 1935, стр. 120—126.

[2] Речь идет о кристалле исландского шпата (прозрачного кальцита). В дальнейшем Гюйгенс его называет «исландским кристаллом».

[3] По предположению немецкого комментатора Е. Ломмеля, Гюйгенс имеет

в виду окаменелости органического происхождения. Возможно, однако, что здесь описаны параллельные сростки пентагон-додекаэдров пирита.

[4] Под термином «призма» здесь описываются спайные осколки кальцита в форме ромбоэдров.

[5] Трехгранная пирамидальная форма отвечает трем граням ромбоэдра вокруг выхода тройной оси симметрии.

К отрывку из «Диссертации о рождении и природе селитры» М. В. Ломоносова

[1] Dissertatio de generatione et natura nitri, concinnata pro obtinendo praemio, quod illustris scientiarum Academia regia liberalitate Berolini florens proposuit ad 1-mum aprilis anni 1749. — Диссертация о рождении и природе селитры, составленная на соискание премии, которую предложила к 1 апреля 1749 года знаменитая Академия наук, королевскими щедротами процветающая в. Берлине.

Рукопись диссертации находится в Германской Академии наук. Впервые текст ее, переведенный на русский язык Б. Н. Меншуткиным, был опубликован в 1904 году. Помещенный в настоящем издании отрывок взят из Полного собрания сочинений М. В. Ломоносова. Т. 2, Изд. АН СССР, 1951, стр. 273—275.

[2] Калиевая селитра образует кристаллы, близкие по внешнему виду и углам к кристаллам кварца, хотя оба эти вещества и принадлежат к различным сингониям (калиевая селитра — ромбическая, кварц — тригональный).

[3] По этому поводу проф. Г. Г. Леммлейн писал: «Геометрическую правильность форм кристаллов Ломоносов видел в закономерностях укладки шарообразных корпускул, но не в сложении геометрически правильных молекул, правильность которых сама требовала бы объяснения. Справедливость этой идеи полностью может быть оценена только в наше время». (Г. Г. Леммлейн. Предисловие к книге «М. Ломоносов. О слоях земных и другие работы по геологии». Госгеолиздат, 1949, стр. 8).

[4] Здесь Ломоносов впервые пытается объяснить закон постоянства углов с помощью внутреннего строения кристаллов.

К отрывку из «Рассуждения о твердости и жидкости тел» М. В. Ломоносова

[1] «Рассуждение о твердости и жидкости тел, ради торжественного праздника тезоименитства ея величества, всепресветлейшия, державнейшия, великия государыни императрицы Елисаветы Петровны, самодержицы всероссийския, в публичном собрании императорской Академии наук сентября 6 дня 1760 года читанное господином коллежским советником и профессором и королевской шведской Академии наук членом Михайлом Ломоносовым». В Санктпетербурге, при императорской Академии наук (1760).

Помещенный в настоящем издании отрывок взят из Полного собрания сочинений М. В. Ломоносова. Т. 3, изд. АН СССР, 1959, стр. 397—401.

[2] Из фиг. 4 видно, что «ромбоическая фигура», отвечающая по Ломоносову «тесному положению» сферических частиц, соответствует кубической центрогранной решетке, т. е. плотнейшей шаровой кубической упаковке. «Фигура кубическая», отвечающая «самому пространному» положению соприкасающихся шаров, соответствует простой кубической решетке.

К отрывку из книги Т. Бергмана «Мелкие заметки химические и физические»

[1] Opuscules chymiques et physiques de M. T. Bergman. T. II, Dijon. 1785. Dissertation XII. De la forme des Crystaux. Pp. 1—27.

[2] Кристаллический шпат — известковый шпат (кальцит).

[3] Куб, или косоугольный параллелепипед — ромбоэдр.

[4] Здесь, очевидно, описывается частично растворенный кристалл кальцита.

[5] Здесь описывается скелетная форма поваренной соли в виде полых пирамидок.

[6] Рудные месторождения в Швеции.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Опыт теории структуры кристаллов и ее применение к разнородным кристаллическим веществам 7

Предисловие 9
Введение 10
Глава I. Общие сведения о структуре кристаллов и о существовании первичной (примитивной) формы, заключающейся в каждом из них 24
Глава II. О законах убывания, которым подчинены составные пластины кристаллов, рассматриваемые в процессе их перехода от первичной формы к вторичным формам 28
Глава III. Применение структурной теории к кристаллам известкового шпата 36
Глава IV. Применение структурной теории к тяжелым шпатам 56
Глава V. Применение структурной теории к фосфоресцирующим плавиковым шпатам 64
Глава VI. Применение структурной теории к кристаллам гипса 69
Глава VII. Применение структурной теории к кристаллам гранатов 79
Глава VIII. Применение структурной теории к топазам Бразилии и Саксонии 87
Глава IX. Применение структурной теории к окристаллизованному песчанику из Фонтенебло 95
Глава X. Наблюдения и предположения относительно образования и роста кристаллов 96

Ответ г-на Гаюи, почетного члена общества, на возражения г-на Бертолле, касающиеся метода классификации автора (Statique Chim, том I, стр. 433—449). Г-ну Рахманову, его ученику и члену общества 107

Приложения

Ренэ Жюст Гаюи. Жизнь и творчество. — Проф. *И. И. Шафрановский*. . . . 116
Список научных трудов Р. Ж. Гаюи 143
Литература о жизни и трудах Р. Ж. Гаюи 151
Основная литература о Р. Ж. Гаюи на русском языке 151

Предшественники Гаюи о структуре кристаллов

Р. Гук. Отрывок из книги «Микрография...» 153
И. Ньютон. Отрывок из книги «Оптика» 158
Х. Гюйгенс. Отрывок из книги «Трактат о свете» 158
М. В. Ломоносов. Отрывок из «Диссертации о рождении и природе селитры» . 162
М. В. Ломоносов. Отрывок из «Рассуждения о твердости и жидкости тел» . . . 163
Т. Бергман. Отрывок из книги «Мелкие заметки химические и физические» . 165

Примечания 172

РЭНЭ ЖЮСТ ГАЮИ. СТРУКТУРА КРИСТАЛЛОВ. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

Утверждено к печати Редакционной коллегией серии «Классики науки» Академии наук СССР

Редактор издательства *Т. И. Сушкова*. Технический редактор *А. В. Смирнова*
Корректоры *О. И. Иващенкова*, *Г. А. Мошкина* и *З. В. Типикина*

Сдано в набор 27/X 1961 г. Подписано к печати 13/III 1962 г. РИСО АН СССР № 5—122В
Формат бумаги 70×90 1/16. Бум. л. 5 1/2. Печ. л. 11=12.87 усл. печ. л. +3 вкл. Уч. изд. л. 12.12+3 вкл. (0.15). Изд. № 1477. Тип. зак. № 373. Тираж 3300. *Цена 94 к.*

Ленинградское отделение Издательства АН СССР. Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я типография Издательства Академии наук СССР. Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12


СТРУКТУРА КРИСТАЛЛОВ
РЕНЭ ЖЮСТ ГАЮИ

64 коп.